



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE QUÍMICA**



**“DESARROLLO DE PREMEZCLA DE HARINA DE TRIGO DURO OBTENIDA  
POR PROCESOS DE NIXTAMALIZADO TRADICIONAL Y MODIFICADO”**

## **TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**QUÍMICO EN ALIMENTOS**

PRESENTA:

**DENIS JANNET DE LA O LÓPEZ**

DIRECTOR ACADÉMICO:

**Q. JESUS CASTILLON JARDON**

ASESOR ADJUNTO

**DRA. ANDREA YAZMIN GUADARRAMA LEZAMA**

NOVIEMBRE, 2017

# Índice

Dedicatorias.....	i
Agradecimientos .....	ii
Índice .....	iii
Índice de Tablas.....	vi
Índice de Figuras.....	vii
Resumen.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	ix
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
MARCO TEORICO.....	2
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Cereales .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Trigo.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.1. Generalidades del trigo .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.2. Trigo: producción y consumo.....</b>	<b>7</b>
<b>2.3. Procesos de nixtamalización .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3.1. Tradicional.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3.2. Proceso de nixtamalización modificado .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.3. Efecto de la nixtamalización en cereales.....</b>	<b>13</b>
<b>2.4. Gluten .....</b>	<b>14</b>
<b>2.5. Harinas .....</b>	<b>15</b>
<b>2.5.1. Composición química del trigo y de la harina.....</b>	<b>17</b>
<b>2.5.2. Harinas: producción en México.....</b>	<b>19</b>
<b>2.6. Pre-mezclas usadas en panificación.....</b>	<b>21</b>
<b>2.7. Estudios previos de nixtamalización de maíz .....</b>	<b>22</b>
OBJETIVOS .....	23
HIPÓTESIS .....	25
<b>HIPÓTESIS .....</b>	<b>26</b>
JUSTIFICACIÓN.....	27
<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>28</b>
MATERIALES Y MÉTODOS .....	29
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1. Localización del proyecto .....</b>	<b>30</b>

<b>3.2. Materiales</b> .....	30
<b>3.3. Preparación de los trigos nixtamalizados</b> .....	30
<b>3.3.1. Limpieza del grano de trigo</b> .....	30
<b>3.3.2. Proceso tradicional de nixtamalización</b> .....	30
<b>3.3.3. Proceso de Nixtamalización Modificada</b> .....	31
<b>3.4. Almacenamiento</b> .....	31
<b>3.5. Análisis fisicoquímicos del grano de trigo</b> .....	31
<b>3.5.1. pH del nejayote</b> .....	31
<b>3.5.2. Color del grano</b> .....	32
<b>3.5.3. Tamaño de grano</b> .....	32
<b>3.6. Análisis fisicoquímicos de las harinas</b> .....	33
<b>3.6.1. Molienda de granos</b> .....	33
<b>3.6.2. Tamaño de partícula</b> .....	33
<b>3.6.3. Color de las harinas</b> .....	33
<b>3.6.4. Contenido de gluten</b> .....	34
<b>3.6.5. Perfil de viscosidad</b> .....	34
<b>3.7. Análisis fisicoquímicos a premezclas de harina</b> .....	35
<b>3.7.1. Capacidad de agua subjetiva (CAAS)</b> .....	35
<b>3.7.2. Pruebas de fermentación</b> .....	35
<b>3.7.5. Análisis estadístico</b> .....	36
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	37
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	38
<b>4.1. Preparación de muestras</b> .....	38
<b>4.1.1. pH</b> .....	38
<b>4.2. Características físicas y químicas del grano de trigo</b> .....	38
<b>4.2.1. Color del grano</b> .....	38
<b>4.2.2. Tamaño del grano</b> .....	39
<b>4.3. Características físicas y químicas de las harinas</b> .....	40
<b>4.3.1. Tamaño de partícula</b> .....	40
<b>4.3.2. Color de harinas</b> .....	42
<b>4.3.3. Contenido de gluten en las diferentes harinas</b> .....	44
<b>4.3.4. Perfil de viscosidad</b> .....	45
<b>4.4. Combinación de las harinas para obtener premezclas alimenticias</b> .....	47

<b>4.4.1. Capacidad de absorción de agua subjetiva (CAAS)</b> .....	47
<b>4.4.2. Contenido de gluten en premezclas</b> .....	49
<b>4.4.3. Prueba de fermentación</b> .....	50
<b>4.4.4. Proteína</b> .....	54
CONCLUSIONES.....	56
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	57
REFERENCIAS .....	60
<b>REFERENCIAS</b> .....	61

## Índice de Tablas

Tabla	página
1. Composición de nutrientes en 100 g de cereales.....	5
2. Siembra y cosechas de trigo, resumen nacional por estado O-I.....	8
3. Tipos de trigo de acuerdo a la clasificación en México.....	9
4. Porcentaje de los principales componentes de la harina de trigo.....	15
5. Especificaciones para harina de trigo de la Norma CODEX.....	16
6. Composición química del grano de trigo en porcentaje y donde se localiza .	19
7. Niveles de adición de nutrimentos a la harina de trigo en la legislación actual de Estados Unidos de América.....	21
8. Evaluación del color de grano de trigo duro, seco y húmedo, sometido a tratamientos de nixtamalización modificada y tradicional.....	39
9. Comparación de la diferencia neta entre los distintos tratamientos aplicados a los granos de trigo y su comparación con el control.....	39
10. Tamaño de grano de trigo duro, seco y húmedo, sometido a tratamientos de nixtamalización modificada y tradicional.....	40
11. Evaluación del color de la harina de trigo duro, seco y húmedo, sometido a tratamiento de nixtamalización modificada y tradicional.....	43
12. Comparación de la diferencia neta entre los diferentes tratamientos aplicados a las harinas de trigo y su comparación con el control.....	43
13. Contenido de gluten (%) de harina nixtamalizada tradicional, modificada y sin nixtamalizar.....	44
14. Comparación del contenido de gluten (%) y la capacidad de absorción de agua subjetiva (CAAS) en premezclas de harina de trigo sin nixtamalizar (HSN), harina de trigo nixtamalizada tradicional (HNT) y modificado (HNM).....	48
15. Velocidad de fermentación y ajuste de linealidad de premezclas de harinas de trigo nixtamalizado modificada.....	51
16. Velocidad de fermentación y ajuste de linealidad de premezclas de harinas de trigo nixtamalizada tradicional.....	53

## Índice de Figuras

Figura	página
1. Estructura del grano de trigo.....	7
2. Grafica de distribución de tamaño de partícula para HNM.....	40
3. Grafica de distribución de tamaño de partícula para HNT.....	41
4. Grafica de distribución de tamaño de partícula para HSN.....	41
5. Color de harinas a) nixtamalizada tradicional, b) nixtamalizada modificada, c) harina sin nixtamalizar.....	44
6. Viscosidad del almidón del grano de trigo nixtamalizado tradicional (HNT), modificado (HNM), y sin nixtamalizar (HSN) respecto al tiempo.....	45
7. Capacidad de absorción de agua subjetiva en premezclas de HSN, HNT y HNM.....	47
8. Contenido de gluten (%) en las diferentes premezclas de harina de trigo (HNM, HNT y HSN).....	49
9. Velocidad de fermentación para la premezcla de harina al 5% con HNM.....	50
10. Velocidad de fermentación para la premezcla de harina al 10% con HNM...	50
11. Velocidad de fermentación para la premezcla de harina al 20% con HNM...	51
12. Velocidad de fermentación para la premezcla al 5% con HNT.....	52
13. Velocidad de fermentación para la premezcla al 10% con HNT.....	52
14. Velocidad de fermentación para la premezcla al 20% con HNT.....	53
15. Contenido de proteína (%) de HNM, HNT, HSN y estándar (HS) en premezclas al 5%, 10% y 20%.....	54

## Resumen

En México, la producción de trigo tuvo un crecimiento promedio anual del 8.6% en 2014. El trigo es el cereal con mayor relevancia ocupando el segundo lugar con mayor volumen de producción y de consumo de grano en el país por ello es importante aprovechar este cereal para consumo humano.

Las premezclas en la industria panadera son cada vez más usadas para la facilitación y minimización de errores en la elaboración de productos alimenticios.

El presente estudio tuvo como objetivo aplicar el método de nixtamalización tradicional y modificado de trigo duro para la obtención de premezclas de harina con características físicas y químicas deseables para la industria panadera. Se nixtamalizaron muestras de 2 kg de trigo duro (contenido de humedad 12.7% y proteína 13.5%) con tratamiento modificado (1%  $\text{CaOH}_2$ , 10 min, 60°C) y con tratamiento tradicional (1%  $\text{CaOH}_2$ , 35 min, 95°C) dejándose en reposo por 16 horas ambos tratamientos y se realizaron premezclas con las harinas obtenidas y harina comercial Manitoba®.

Los resultados obtenidos en este estudio mostraron que se encontró diferencia significativa en el color y tamaño de grano, color de harina, contenido de gluten húmedo, y tamaño de partícula ( $p < 0.05$ ) dependiendo el proceso de nixtamalización. También se encontró una mayor distribución de la red proteica en las premezclas de harinas elaboradas con trigo duro nixtamalizado modificado y la premezcla conteniendo 20% de trigo duro respecto al control y a la harina comercial, mientras que no hubo diferencia significativa en la capacidad de absorción de agua subjetiva en las diferentes harinas y premezclas.

# INTRODUCCIÓN

## I. INTRODUCCIÓN

En México el trigo es el segundo grano más consumido con un total de 52 kg per cápita por año, la principal zona consumidora de trigo es el centro-sur del país la producción de trigo se realiza principalmente en los Estados que conforman la región del Bajío, esta representa el 55% del total nacional y agrupa a los estados de Baja California, Sonora y Sinaloa.

El procesamiento de maíz destinado a la nixtamalización es un proceso muy importante para el consumo humano, es un proceso térmico alcalino al que se somete el maíz para la formación de la masa, la cual se puede utilizar en diferentes productos el principal, la tortilla, sin embargo, se puede hacer harina nixtamalizada y dar lugar a nuevos productos panaderos alimenticios, las mejores harinas panaderas presentan un alto contenido proteico, alta absorción de agua, color característico, buen rendimiento y alta pureza en la harina, los cuales dependen de la forma en que el endospermo es separado del salvado, de la fragilidad del endospermo y de la facilidad con que se tamiza la harina.

Actualmente existen diferentes formas de nixtamalizar cereales, la forma tradicional en la que se añade 1% de  $\text{CaOH}_2$  se cose a  $95^\circ\text{C}$  por 35 min y los procesos modificados los cuales buscan encontrar alternativas ecológicas, económicas, y eficientes que mantengan la calidad nutrimental y sensorial de los productos, en la búsqueda de la simplificación del trabajo de los manipuladores de alimentos se desarrollaron las premezclas también conocida como mix la cual es una mezcla de ingredientes básicos para lograr con menor esfuerzo obtener productos de panificación de alta calidad, minimizar los errores al prepararlos y reducir el tiempo empleado en la elaboración, obtener masas más tolerables en la elaboración generando así una simplificación general del trabajo de los panaderos.

Por lo que el objetivo de este trabajo es aplicar la nixtamalización modificada y tradicional al trigo duro para la obtención de premezclas de harina como una futura aplicación para la aplicación de productos de panificación con características deseables.

# MARCO TEORICO

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Cereales

Los cereales engloban varias especies de la familia de las gramíneas, la palabra cereales se denomina de *ceres* diosa romana de la agricultura; constituyen la mayor fuente de energía en la dieta debido a su valor energético. El cultivo y consumo de cereales data desde tiempos antiguos actualmente el consumo de cereales es mayor que el de cualquier otro alimento. Se pueden consumir de forma natural o procesados a partir de su transformación en harina; los granos más cultivados son trigo, cebada, centeno, avena, arroz, maíz, y sorgo (Ponce, 2015)

- Maíz

El maíz es uno de los granos más antiguos que se conoce es consumido en gran parte por el agricultor y su familia es un producto básico en la alimentación de los pueblos, es el cereal número uno en rendimiento de grano por hectárea. El maíz es de gran importancia económica a nivel mundial ya sea por su consumo humano, el consumo ganadero o por la gran cantidad de productos que se fabrican con el (Paliwal, 2017)

- Arroz

El arroz es de cultivo muy diferente a los demás cereales. Es el único cereal que se cultiva en condiciones semi-acuáticas, es decir, que en cierto tiempo la planta debe estar sumergida en agua, aunque existen variedades de arroz que se cultivan diferente ya que puede tolerar condiciones adversas, calor, frío, acidez, humedad o sequía sin embargo el crecimiento perfecto se da en ambientes cálidos y húmedos (Borneo, 2008)

- Cebada

La cebada puede tolerar suelos más pobres y temperaturas más bajas que las que tolera el trigo existen variedades que incluyen con cascara y sin cascara. Se puede utilizar como alimento para ganado, fabricación de malta y como preparación de

alimentos además de que los granos tostados son usados como sucedáneo del café (FAO, 2017).

- Centeno

El centeno pertenece a la especie *Scale cereale*, tiene un sistema radicular parecido al del trigo, el tallo es largo y flexible y las hojas son estrechas. Como en la cebada, las espigas no tienen pedúnculo y van unidas al raquis. Las espiguillas producen hasta tres flores, la espiga es delgada y muy larga (Guerrero, 1999).

- Avena

El grano de avena es un buen forraje para alimento ganadero ya que tiene un alto contenido de vitamina E. Se emplea para la fabricación de productos dietéticos. El tallo es grueso, pero con poca resistencia al vuelco, las hojas son planas y alargadas, su color es verde azulado en cambio la cebada es verde claro, su fruto es una cariósida, con las glumillas adheridas (Guerrero, 1999).

- Sorgo

Es uno de los principales granos de México, su importancia radica en que es uno de los principales ingredientes para la alimentación del ganado en México. Su crecimiento se ubica en la década de los sesenta, cuando se produce un cambio en el patrón de cultivos en nuestro país. Desde ese momento forma parte de la cadena de producción que suministra proteína de origen animal al mercado de alimentos (Rebollar *et al.*, 2005)

En general, todo grano de cereal está constituido por las mismas partes y en proporciones aproximadamente iguales en todos ellos. Los cereales aportan nutrientes que están conformados principalmente de carbohidratos, proteína, fibra y micronutrientes tales como se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1.** Composición de nutrientes en 100 g de cereales.

Nutrimiento	Arroz	Maíz	Trigo	Sorgo	Avena	Cebada	Centeno
Energía (kcal)	370	365	329	329	389	354	335
Agua (%)	12	13.8	12	11	12	11	11
Proteína (g)	7.5	8.9	13.3	11	16.1	12.5	14.8
Grasa (g)	1.9	3.9	2.0	3.3	3.4	1.9	1.9
Carbohidratos (g)	77.4	72.2	71.0	73.0	66	73	70
Fibra (g)	0.9	2.0	2.3	1.7	2.5	4.6	6
Ceniza (g)	1.2	1.2	1.7	1.7	2.0	1.7	1.2
Calcio (mg)	32	22	41	28	54	33	33
Fosforo (mg)	221	268	472	287	523	264	374
Hierro (mg)	1.6	2.1	3.3	4.4	4.7	3.6	2.7
Potasio (mg)	214	284	370	350	429	452	264
Tiamina (mg)	0.34	0.37	0.55	0.38	0.76	0.65	N/D
Riboflavina (mg)	0.05	0.12	0.12	0.15	0.14	0.29	N/D
Niacina (mg)	1.7	2.2	4.3	3.9	0.9	N/D	N/D
Magnesio (mg)	88	147	113	N/D	177	1.94	2.68

Fuente: Adaptada de Severson (1998)

Sin embargo, el trigo es el cereal que más predomina por su adaptación a los cambios climáticos y el suelo, ofrece un alto valor nutritivo y una gran capacidad de almacenamiento, además, su rendimiento de harina útil es alto.

## 2.2. Trigo

### 2.2.1. Generalidades del trigo

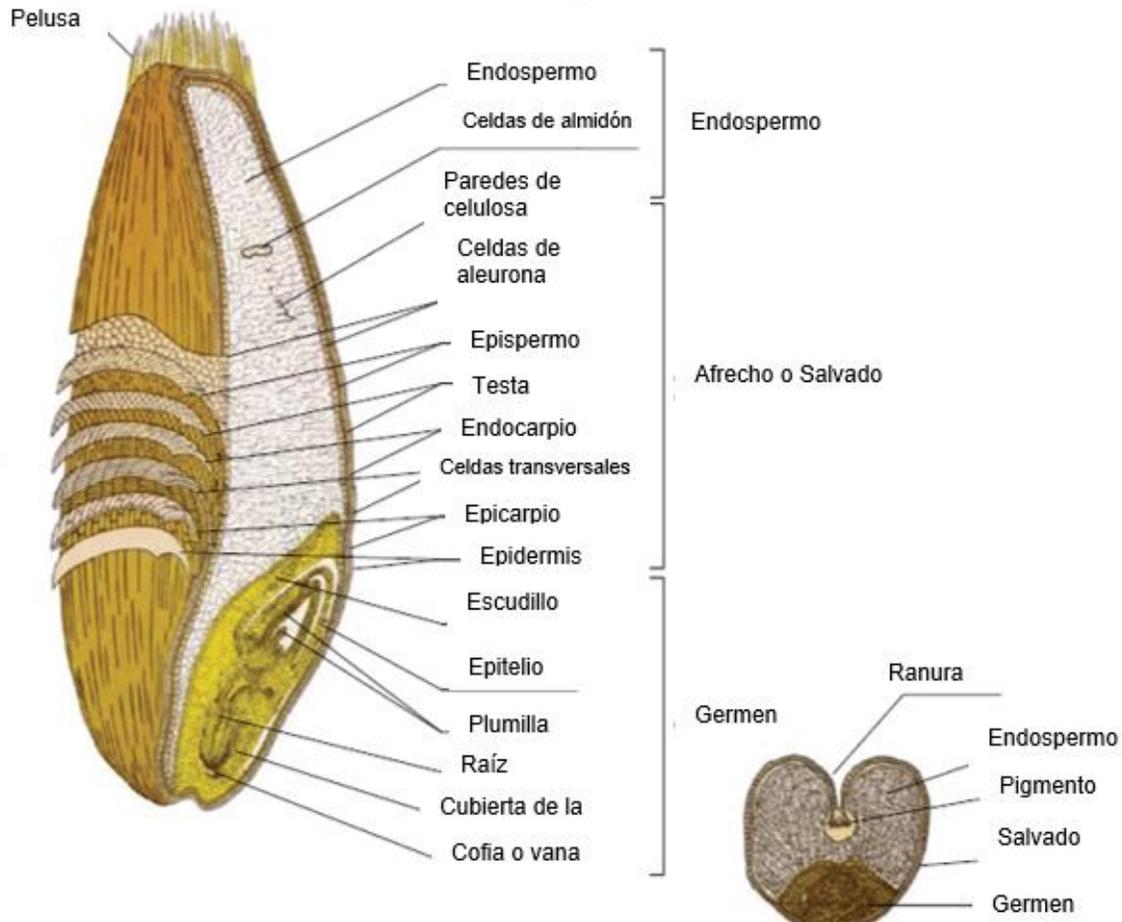
El trigo pertenece a la división *Magnoliophyta*, clase *Liliopsida*, orden *Poales* (Graminales), familia Gramíneas (Poaceas), subfamilia *Festucoideae*, tribu *Triticaceae* (Hordeae), género *Triticum*. Este comprende alrededor de 30 tipos de trigo que tienen diferencias genéticas como para ser consideradas especies distintas o subespecies (Royo *et al.*, 2005).

Los miembros de la familia Gramíneas que producen granos de cereal, generan frutos secos con una sola semilla. Este tipo de fruto es una cariósipide. La cariósipide está formada por una cubierta de pericarpio que rodea a la semilla y se adhiere fuertemente a la cubierta de la semilla. La semilla está constituida a su vez por el embrión o germen y endospermo encerrados dentro de una epidermis nuclear y de la cubierta de la semilla (Silva y Solano, 2011)

La palabra trigo proviene del latín *Triticum* cuyo significado es quebrado o triturado y se refiere al proceso de separación de la semilla y su cascarilla. El grano de trigo se puede transportar y almacenar de manera sencilla, utilizándose para diversos productos como harina, harina integral, sémola, y malta, los cuales constituyen la materia prima para la elaboración de otra gran variedad de productos alimenticios (Juárez, 2014).

El grano de trigo es color marrón, mide 8 mm y pesa 35 mg aproximadamente la longitud puede variar dependiendo el tipo; las cubiertas de los frutos y semillas envuelven el tejido nutritivo, el endospermo y el germen del grano, la planta de trigo puede llegar a medir entre 30 y 180 cm de alto tiene un tallo recto y presenta nudos, la mayoría contiene 6, la espiga suele ser color marrón y corta (Belitz y Gosch, 1997).

La semilla de trigo tiene forma de nuez alargada presenta un hundimiento longitudinalmente y en la parte opuesta al germen, una barbilla o pincel. La semilla de trigo está constituida por tres elementos importantes, el endospermo, es el centro blanco o amarillento (Figura 1) es la parte de la semilla más importante para fines de alimentación y representa alrededor de 83% del total de la semilla, el germen está constituido por células que contienen el almidón y por paredes de celulosa que los separan; el germen, es el diminuto embrión que está colocado en la base de la semilla y representa cerca de 2.5% de la semilla este está constituido por el escudillo, el epitelio, la punta del tallo la raíz y la cofia, regularmente se separa de la semilla debido a que contiene grasas que limitan la conservación de la harina; el salvado también conocido como cascarilla, pericarpio, y afrecho, contiene al epidermis la testa y el endocarpio, constituye la envoltura externa del fruto y está formado por varias capas de células, representa alrededor del 14.5% de la semilla y puede estar incluido en harina integral aunque lo normal es que se separe para alimentar ganado. (Richardson, 1982; Potter y Hotchkiss, 1999; Enriquez, 2012).



**Figura 1.** Estructura de grano de trigo (Modificado de CANIMOLT, 2014).

### 2.2.2. Trigo: producción y consumo

En México el trigo es el segundo grano más consumido ubicado después del maíz con un total de 52 kg per cápita por año, la principal zona consumidora de trigo es el centro-sur del país que demanda el 60% del total del trigo nacional producido (Agrosíntesis, 2011).

En el mundo se siembra trigo en alrededor de 75 países y en el mercado internacional se registra que participan 121. En México la importancia del trigo no pasa desapercibida, y sigue ganando preferencia en la alimentación humana, además de ser el cultivo anual extensivo más tecnificado (Villaseñor y Espitia, 1994)

El grano de trigo es el de mayor relevancia ocupando el segundo lugar por su volumen de producción. Se consume de forma directa el 75% del trigo en productos como; harinas, pastas y pan, de forma indirecta se consume el 15% en productos animales y el resto se emplea como semilla.

La producción mundial de trigo creció a una velocidad promedio anual de 1.7 por ciento entre 2001/02 y 2013/14. Destaca el mayor dinamismo en la producción de 2013/14, con un incremento a tasa anual de 8.6 por ciento respecto al ciclo anterior. Este incremento es en respuesta al aumento en la producción de la Unión Europea (con un incremento de 7.9 por ciento en el rendimiento por hectárea, es decir, 0.4 toneladas por hectárea más que en 2012/13) y de Rusia (con un aumento de la superficie cosechada en 9.9 por ciento). (Panorama Agroalimentario, 2014).

En México, la producción de trigo se realiza principalmente en los Estados que conforman la región del Bajío, esta representa el 55% del total nacional y agrupa a los estados de Baja California, Sonora y Sinaloa (Hernández, 2012), sin embargo, se produce trigo en más de 20 estados de la república con un total de 2,406,471 ton obtenidas (SIAP, 2016).

**Tabla 2.** Siembras y cosechas de trigo resumen nacional por estado O-I 2016.

<b>Estado</b>	<b>Superficie sembrada (ha)</b>	<b>Superficie cosechada (ha)</b>	<b>Producción obtenida (ton)</b>
Baja California	102,960	22,372	149,897
Baja California Sur	4,176	3,522	15,850
Coahuila	7,771	3,473	13,402
Guanajuato	40,360	35,264	241,283
Nuevo León	29,015	21,140	40,605
Sinaloa	74,366	66,739	315,805
Sonora	292,494	240,778	1,624,115
Tamaulipas	2,253	2,253	5,514
<b>Total</b>	<b>553,395</b>	<b>395,541</b>	<b>2,406,471</b>

Fuente: SIAP (2016)

Se conoce como trigo de otoño-invierno (O-I), al grano que se siembra en la época de otoño y es cosechado en la primavera. El trigo de primavera-verano (P-V) es

aquel que tiene un crecimiento continuo, germina con mayor velocidad y se cosecha en verano. Sin embargo, esto puede depender de la ubicación de cada país y sus condiciones climáticas, ya que hay naciones en las que se puede cultivar trigo en diversos meses del año.

Existen diferentes tipos y variedades de trigos, y la clasificación depende del país, por ejemplo, Canadá tiene uno, Estados Unidos otro y México, sin dejar de utilizar los dos primeros también agrupa las clases de trigo. Las principales diferencias entre los granos son dadas por la dureza del trigo, así, tenemos los muy duros (durum o cristalinos), los duros (hard) y los suaves o blandos (soft). También existen los grupos definidos como ambarinos, rojos o blancos. Los trigos más comunes son el hard red Winter, hard red spring, soft red Winter, soft red spring y el durum y amberdurum.

Los trigos en México se clasifican sobre la base de las propiedades del gluten de trigo, a diferencia de Canadá y Estados Unidos donde se clasifican de acuerdo a su comportamiento de crecimiento. Los principales tipos de trigo que se cultivan en México son clasificados en 5 grandes grupos, siendo los de mayor demanda los del grupo 1 y 3, sin embargo, existe mayor crecimiento en la producción de trigos cristalinos.

**Tabla 3.** Tipos de trigo de acuerdo a la clasificación en México.

<b>Grupos</b>	<b>Tipo de gluten</b>	<b>Usos</b>
I.	Fuerte (muy elástico) y extensible	Lo utiliza la industria mecanizada de la panificación, produciendo principalmente harina para pan de caja.
II.	Medio fuerte (elástico) y extensible	Es para la industria del pan hecho a mano o semi-mecanizado.
III.	Débil (ligeramente elástico) y extensible	Se utilizan para la industria galletera y elaboración de tortillas, buñuelos y otros, también puede utilizarse en la panificación artesanal.
IV.	Medio y tenaz (no extensible)	No es panificable por su alta tenacidad. Se mezcla con trigos fuertes con gluten muy fuerte
V.	Fuerte tenaz y corto (no extensible)	No es panificable. Se usa para la industria de pastas alimenticias

Para la comercialización y producción del trigo es importante el porcentaje de proteínas el cual depende mucho de las condiciones del medio ambiente en muchas ocasiones la falta de humedad puede incrementar el contenido proteico relativo y modifica las propiedades funcionales dando como resultado harinas más grises, otro factor que puede afectar los nutrientes en el grano es la cantidad y calidad de fertilizantes que se usan al momento de la siembra, la deficiencia de azufre provoca granos más pequeños y con menor contenido de proteínas lo cual produce modificaciones reológicas en las masas (Dupont y Altenbach, 2003; Zhao, Hawkesford y MacGrath, 1999; Kamal *et al.*, 2009).

## **2.3. Procesos de nixtamalización**

### **2.3.1. Tradicional**

La nixtamalización es un proceso muy importante para el consumo humano, desde los aztecas adoptamos esta costumbre pasando de generación en generación practicándola en todo el país, la palabra nixtamalización proviene del náhuatl *nixtlique* significa cenizas y *tamallique* significa masa es un proceso que no ha sufrido grandes modificaciones, este proceso consiste en la cocción del maíz en una solución de cal aproximadamente al 1 %, durante 50 a 90 minutos a altas temperaturas que normalmente llegan a ser entre 85-100 °C , luego se deja remojando en el agua de cocción (nejayote) de 14 a 18 horas. Posterior al remojo, el agua de cocción (nejayote), se retira y el maíz se lava dos o tres veces con agua, se obtiene así el llamado maíz nixtamalizado o nixtamal, que llega a tener hasta 45 % de humedad. El nixtamal se muele en un metate para producir la masa que se utiliza para formar a mano las tortillas que luego son cocidas en un comal de barro. Es importante indicar que el proceso de molienda requiere la adición de agua y que la masa llega a tener de 48 a 55 % de humedad (Paredes *et al.*, 2009).

La producción de harina de maíz nixtamalizado inicia en el país en el año de 1949 cuando fue comercializada por el grupo industrial Molinos Azteca, S. A, en 1951 Maíz Industrializado, S. A (MINSA) registro por primera vez la patente para la producción de esta harina, la producción se basa en el método tradicional, sistematizado a gran escala. Las etapas incluyen: (Sánchez-Armas, 1996; Rooney y Suhendro, 1999).

- Recepción

El maíz llega en ferrocarril, como ha sido recolectado del campo este llega con insectos, tierra, piedras y materia extraña que deberá ser eliminada, una vez que llega al destino se analiza para asegurarse que no contenga un porcentaje de humedad mayor a 14. Cuando se inicia la descarga del maíz este es pasado por cribas para prelimpiar el grano, sin embargo, se realiza una limpieza más profunda que incluye aspiradores, mesas gravimétricas y mesas densimetrías para eliminar la mayor cantidad de contaminantes del maíz, se debe prestar suma atención a granos dañados ya que estos son más susceptibles al ataque de aflatoxinas (Ponce, 2015).

- Cocimiento

Los granos que ya fueron seleccionados y limpiados son colocados en una marmita donde se agrega agua y cal, el maíz suele estar poco cocido, con lo que se disminuye el tiempo de cocción y temperaturas, esto dependerá de las propiedades fisicoquímicas del grano tamaño de las marmitas, y las propiedades que se le quiera conferir a las harinas nixtamalizadas. A la cocción de agua y cal es conocida como “lechada”. Esto producirá el ablandamiento de la estructura del endospermo, una hinchazón en los gránulos de almidón y una lixiviación de amilosa así como el aumento en la humedad del grano a 36-38%. El grano se deja reposar en la lechada de 14 a 16 horas (Gomez *et al.*,1991).

- Lavado

El maíz cocido se empapa durante menos tiempo, lo que limita la distribución del agua y la reorganización de la estructura molecular en comparación con lo que ocurre cuando se produce masa fresca la mezcla es vaciada en tolvas donde se drena el pericarpio y la de cal (nejayote) y los granos son lavados con agua corriente eliminado el exceso de solución alcalina (Gomez *et al.*, 1990)

- Secado

Las partículas de masa son puestas a secar con aire caliente a contracorriente usualmente se coloca en grandes túneles o torres de secado a 300 °C, hasta obtener una humedad de entre 8-10 °C (Serna-Saldivar *et al.*, 1990).

- Molienda y cernido

En este paso el material seco se tritura por un molino de martillos y es separada de acuerdo al tamaño de las partículas para obtener diferentes clasificaciones de harina nixtamalizada, las partículas que pasan por los tamices seleccionados de acuerdo a la especificación del país y si algunas partículas son demasiado gruesas son pasadas nuevamente por el molino (Serna-Saldivar *et al.*, 1990).

- Mezclado y envasado

Una vez que se divide la harina en diferentes tipos se le agrega algunos aditivos como: blanqueadores, gomas, emulsificantes, acidulantes y conservadores. El envasado se realiza normalmente en papel con cubierta interior de polietileno, la humedad en este momento deberá ser de 11% (Ponce, 2015).

### **2.3.2. Proceso de nixtamalización modificado**

Los procesos de nixtamalización modificada buscan encontrar alternativas ecológicas, económicas, y eficientes que mantengan la calidad nutrimental y sensorial de los productos (Figueroa *et al.*, 1994).

La nixtamalización fraccionada consiste en remojar granos de maíz en agua a 30°C por 5 min, una vez remojado se introducen los granos en un decortificador y se hacen girar a 800 rpm así se consigue la separación del endospermo y otras partes del maíz mediante la diferencia de densidades del grano. Las partes obtenidas se nixtamalizan a 90°C con hidróxido de calcio, por último, se secan en una charola y se muelen (Cortés-Gómez, 2006).

La nixtamalización con cocción a presión se lleva a cabo a presiones de 5-25 lb/in<sup>2</sup> por 20 min, el grano es lavado hasta llegar a una temperatura de 77°C, se deja en reposo por 60 min en recipientes con agitación continua, posteriormente el grano es molido, se obtiene una masa de consistencia pegajosa, los cambios que ocurren en este proceso no favorecen todas las reacciones en el grano de maíz, modificando la textura y propiedades reológicas de la masa (Yañez, 2005; Bedolla y Rooney, 1982).

Existen otros métodos de nixtamalización emergentes dentro de los cuales se pueden mencionar los de, cocción por vapor, cocción y secado con secadores de tambor, cocción con infrarrojo, cocción-extrusión, calentamiento óhmico y microondas (Véles, 2004; Enrique *et al.*, 2008).

### **2.3.3. Efecto de la nixtamalización en cereales**

El tratamiento alcalino en los cereales facilita la desnaturalización de proteínas del endospermo poniendo a disposición la lisina y el triptófano y la síntesis de niacina de este último aminoácido. Las altas temperaturas a las que se realizan la cocción (85-100 °C) y el pH  $\approx$  12 facilita la aparición de otra transformación en los componentes del grano. La degradación del pericarpio, la parcial gelatinización del almidón y la pérdida de proteínas solubles (Reguera, 2000).

Otro aspecto sobresaliente es que la membrana semipermeable que está alrededor del grano, denominada aleurona, permanece sobre el mismo durante este tratamiento, lo que minimiza la pérdida de nutrimentos hacia el nejayote por el fenómeno de lixiviación (Paredes-López y Saharópulos, 1982).

El proceso de nixtamalización tiene otros efectos benéficos sobre sobre la masa y/o la harina ya que inhibe la actividad microbiana y ayuda a la conservación de estos productos, reduce la concentración de aflatoxinas. Mejora los parámetros de olor, sabor y color, incrementa el valor nutrimental de tortillas de maíz por el aumento de calcio, niacina, lisina y triptófano (Reguera, 2000).

## **2.4. Gluten**

El descubrimiento del gluten es relativamente reciente, este fue descubierto por el profesor Jacopo Baltolomew de la Universidad de Boloña quien lavó a mano una masa de harina y lo describió como un material gelatinoso opuesto a cualquier otro material soluble amiláceo, también observó que este material una vez que era separado no podía mezclarse con agua y que tenía propiedades físicas únicas (Beach, 1961).

El gluten de trigo es la principal proteína natural del trigo, tiene propiedades únicas de absorción de agua, viscoelasticidad y termocoagulación, estas, la diferencian de cualquier otra proteína vegetal, el gluten se forma por la unión de las proteínas gliadina y glutenina mediante la adición de agua, las gliadinas confieren elasticidad y plasticidad al gluten, mientras que las gluteninas le dan solidez y estructura (Ponce, 2015; Weegels *et al.*, 1996).

Las proteínas de gluten pueden clasificarse en dos grupos que están presentes como monómeros asociados por enlaces de hidrogeno (gliadinas) e interacciones hidrófobas o como polímeros unidos por enlaces disulfuro covalentes (gluteninas), así lo definió Osborne en 1907 en base a su solubilidad o insolubilidad en etanol al 70-90%

Las gliadinas se caracterizan por su solubilidad en etanol y en algunos carbinoles aromáticos como el fenol, tienen un peso molecular promedio de 40 000 son de cadena simple y son muy pegajosas al hidratarse, mientras que las gluteninas se caracterizan por su solubilidad en ácidos, son de cadena múltiple y peso molecular variable de 10 000 a varios millones, es gomosa pero propensa a la ruptura (Hoseney, 1994).

La proteína de gluten representa entre 78 y 85% de la proteína total del endospermo de trigo y, por lo tanto, las variaciones en el contenido total de la proteína indican las variaciones en el contenido de gluten. Esta relación está bien establecida y, en consecuencia, cuanto mayor el contenido de proteína (y de gluten) mayor será la calidad (fuerza de gluten) de la variedad (Kohli y Martino, 1997).

## 2.5. Harinas

La NOM-247-SSA1-2008 define harina como la obtención de la molienda del trigo del grano maduro, entero, quebrado, y seco del género *Triticum*, L; de las especies *T. vulgare*, *T. compactum* y *T. durum* o mezclas de éstas, limpio, en el que se elimina gran parte del salvado y germen y el resto se tritura hasta obtener un grano de finura adecuada la harina de trigo es el principal ingrediente para la elaboración de pan y es la única conocida por el hombre que al adicionarle agua forman la estructura del gluten (Valdés, 2013).

Generalmente se identifican dos tipos de molienda en los cereales a) seca y b) en húmedo, la molienda del trigo se realiza con una serie de pares de rodillos, tamices y purificadores que permite la separación de los principales componentes del grano siendo el almidón, agua, proteínas y lípidos como se muestra en la tabla 4 (Valdés, 2013).

**Tabla 4.** Porcentaje de los principales componentes de la harina de trigo.

Componente	Porcentaje (%)
Agua	14
Almidón	70-75
Proteínas	10-12
Lípidos	2

Existen dos tipos de harina, las duras que contienen alto contenido de proteínas y las suaves con bajo contenido, hay diferentes clases de harina para pan, a) harina integral que la norma define como el producto obtenido de la molienda del grano de cereal que conserva su cáscara y sus otros constituyentes; b) harina completa la cual solo se utiliza el endospermo; c) harina patente que se obtiene del centro del endospermo, es considerada la mejor harina; d) harina clara, esta harina es la que queda después de separar la patente (Silva y Solano, 2011).

La molienda del trigo se realiza con dos tipos de molinos de rodillos, en molinos de quiebra y molinos de reducción de partículas, la clasificación de la harina se realiza con tamices y purificadores que permitirán la separación de los principales componentes del grano, siendo la harina, el salvado y el germen los principales productos obtenidos. El objetivo de la molienda es romper el grano en pedazos grandes para obtener el pericarpio o salvado en forma de hojuelas sin endospermo. Una vez que el endospermo está aislado se reducen hasta obtener una harina con características específicas de ceniza, proteína, humedad y tamaño de partícula (tabla 5) (Pomeranz, 1987).

**Tabla 5.** Especificaciones para harina de trigo de la Norma CODEX

Factor	Límite
Ceniza	0.60 max.
Proteína	Mín. 7% en base seca
Humedad	15.5% m/m máximo
Granulosidad	El 98% o más deberá pasar a través un tamiz (No. 70)

Fuente: Adaptado de Codex Stan 152-1985

La calidad de la harina se mide por rendimiento y pureza de la harina, los cuales dependen de la forma en que el endospermo fue separado del salvado, de la fragilidad del endospermo y de la facilidad con que se tamiza la harina (Vaclavik, 2002).

Las mejores harinas panaderas presentan un alto contenido proteico, alta absorción de agua, color característico, extracción por cada 100 kg de trigo se obtiene de 72 a 76 kg de harina, además son enriquecidas con vitaminas y minerales, para determinar la funcionabilidad de harinas de trigo son los denominados ensayos reológicos existen varios aparatos diseñados a evaluar las propiedades reológicas o físicas de las masas entre ellos el farinógrafo que mide las cualidades de mezclado de la masa y aporta información sobre el procesamiento óptimo de la harina durante la producción entre otros son el extensógrafo y el alveógrafo (Serna, 1996; Tecnosa®, 2017 ).

### **2.5.1. Composición química del trigo y de la harina**

El contenido proteico del trigo es importante ya que la cantidad de proteína del grano se relaciona directamente con el contenido de proteína de la harina, lo cual influye en el tipo y característica final del producto. Las proteínas de trigo fueron clasificadas por Osborne en 1924 en albuminas, globulinas, gliadinas y gluteninas, sin embargo, también pueden clasificarse en proteínas formadoras de gluten y en proteínas que no forman gluten. Las proteínas de no gluten se producen en las capas externas del trigo y son formadas por albuminas (6-13%) y globulinas (4-9%), otra fracción menor de proteínas que no forman gluten son las llamadas triticinas que pertenece a la clase de globulina de proteínas de almacenamiento de semillas (Shewry, Napier y Tatham, 1995).

Las proteínas formadoras de gluten incluyen las gliadinas (30-40%) y las gluteninas que son formadas por proteínas de alto peso molecular (5-10%) y bajo peso molecular (20-30%), estas se encuentran en el endospermo del grano maduro donde forman una matriz continua alrededor de los gránulos de almidón junto con los lípidos y el agua son responsables de la capacidad viscoelasticidad y cohesividad de la masa panadera (Shewry *et al.*, 1986). El gluten, por su alto contenido en prolina no posee una conformación helicoidal, favoreciendo que los grupos amida de la glutamina formen puentes de hidrógeno intra e intermoleculares; sumado a esto, el gluten también es rico en cisteína que permite la formación de

puentes disulfuro inter e intramoleculares, los cuales se forman durante el amasado. Las interacciones hidrofóbicas e hidrofílicas ayudan a que se forme una red elástica y cohesiva para la formación del esponjado producido por el CO<sub>2</sub>, producto de la fermentación (Wieser, 2007; Kamal *et al.*, 2009; Badui).

Los carbohidratos totales se presentan en el grano como fibra, azúcares libres, hemicelulosas o pentosas y almidón constituyen del 77 al 87% de la materia seca total y son los componentes más importantes, el almidón constituye aproximadamente el 64% es el hidrato de carbono más importante en todos los cereales. El alto contenido de almidón en el trigo en los cereales en general, hace que sean considerados fuente de energía en la dieta, el cual es totalmente digerible en el sistema (Ao y Jane, 2007; Badui, 2013). La fibra dietética formada por carbohidratos solubles e insolubles, contiene 0.1% en el endospermo y de 12-14% en el salvado (Kent, 1987). La parte insoluble está constituida principalmente por celulosa y hemicelulosa se encuentra en las paredes celulares y liga gran cantidad de agua la cual no es digerible para el humano, aunque puede ser hidrolizada en el intestino grueso provocando un bajo pH intestinal por la producción de ácidos grasos de cadena corta y es lo que se asocia a la disminución del colesterol en la sangre (Serna-Saldivar, 2009).

Las enzimas hidrolíticas que actúan sobre los carbohidratos son  $\alpha$  y  $\beta$ -amilasas, celulasas, enzimas desramificantes,  $\beta$ -glucosidasas y glucosidasas. El trigo también contiene enzimas proteolíticas (endo y exopeptidasas), lipasas, enterasas, fosfatasas, fitasas, y lipooxigenas. También están presentes varios tipos de lípidos como ácidos grasos saturados (11-26%) y no saturados (72-85%), glicéridos simples, galactoglicéridos, fosfoglicéridos, esteroides, esfingolípidos, carotenoides, dioles, tocoferoles e hidrocarburos, su distribución en el grano es el siguiente en el germen 25-30%, aleurona 22-33%, endospermo 40-50%, y pericarpio 4% (Gómez-Pallarés *et al.*, 2007).

**Tabla 6.** Composición química del grano de trigo en porcentaje y donde se localizan.

<b>Constituyente</b>	<b>Parte del grano</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>Proteína</b>	Aleurona, salvado y germen	10-22%
• Albuminas y globulinas		
• Gliadinas y gluteninas	Endospermo	80-90%
<b>Carbohidratos</b>		
• Fibra	Endospermo y salvado	14-16%
• Hemicelulosas	Paredes celulares	2-3%
• Almidón	Endospermo	64%
<b>Lípidos</b>	Germen, aleurona, endospermo y pericarpio	81-90%

Fuente: Adaptado de Gambarotta, 2005

### **2.5.2. Harinas: producción en México**

El objetivo primordial de moler el trigo es obtener las fracciones de endospermo, salvado y germen hasta obtener harina, para llegar a este producto se pasa por diferentes etapas las cuales incluyen:

- Almacenamiento y limpieza del grano

El trigo es transportado vía terrestre, una vez que llega a los molinos es pesado y almacenado en silos previo a haber pasado diversas pruebas de calidad específicas en cada empresa, en la etapa de pre-limpieza, se retira toda la materia extraña que viene del campo o que fue adquirida en el almacenamiento esto incluye piedras, pasto, trozos de madera o cualquier elemento que se considere contaminante; esto se logra a través de aspiradores, los cuales cuentan con cribas sacudidoras con distintas perforaciones para retener el trigo, y eliminar las partículas que no pertenecen al grano (Rosido, Camacho-Solis, y Bourges, 1999)

- Acondicionamiento del grano

Una vez que el grano no presenta impurezas se le añade agua, esto con el objetivo de que el salvado resista la trituración, hacer la cascara elástica y tenaz, obtener condiciones óptimas para la molienda y obtener una humedad de entre 12-14%. La cantidad de agua añadida y el tiempo de reposo depende del tipo de trigo, trigos suaves requieren menor cantidad de agua y tiempos más cortos mientras que los trigos duros requieren más agua y tiempo de reposo. Regularmente se añade 16% de humedad al trigo ya que al momento de la molienda los rodillos generan fricción y esto produce que un 2% del agua contenida en el trigo se evapore (Frank *et al.*, 2014).

- Molienda

Una vez que se logró la humedad adecuada del grano se lleva a cabo una rotura del grano donde se obtiene un producto intermedio llamado sémola de las que se pueden separar el salvado y el germen del endospermo, después de obtener esta separación se reduce el endospermo en harina (Martínez *et al.*, 2010; Gambarotta, 2005).

- Tamizado

En esta etapa se clasifica las harinas en sémola, donde los tamaños de las partículas son variables, harina de primera y en sobrantes que se someten a una segunda rotura (Lesafre, 2014).

- Purificación

Se hace pasar una corriente de aire en sentido contrario al que los tamices están inclinados, así las partes pequeñas de sémola serán removidas y las partículas que aún son demasiado gruesas serán llevadas de nuevo a los rodillos para obtener el tamaño específico de la harina, una vez obtenida la harina se añaden aditivos tales como blanqueadores (peróxido de benzoílo), maduradores y vitaminas (Frank *et al.*, 2014; Lesafre, 2014).

## 2.6. Pre-mezclas usadas en panificación

Una premezcla o harina preparada también conocida como *mix* es una mezcla de ingredientes básicos que permiten facilitar el proceso de elaboración de productos panderos; la elaboración de premezclas se ha desarrollado para lograr con menor esfuerzo obtener productos de panificación de alta calidad, minimizar los errores al prepararlos y reducir el tiempo empleado en la elaboración, obtener masas más tolerables en la elaboración generando así una simplificación general del trabajo de los panaderos. Todas las premezclas se preparan con materias primas seleccionadas, en dosis óptimas para elaborar el mejor pan, logrando obtener un producto panadero con mayor absorción, rendimiento y desarrollo (Ahuatl, 2008; Riofrio y Moran, 2010).

En la actualidad muchas empresas usan premezclas de vitaminas y minerales ya que el proceso de molienda degrada muchas de las vitaminas y minerales del grano en la tabla 4 se muestra las cantidades adicionadas de nutrimentos en harina comercial de Estados Unidos.

**Tabla 7.** Niveles de adición de nutrimentos a la harina de trigo en la legislación actual de Estados Unidos de América

Nutrimento	Nivel utilizado en la actualidad (mg/lb de harina )
Tiamina	2.9
Rivoflavina	1.8
Niacina	24.0
Hierro	13.0-16.5

Calcio	960
Vitamina A	Ninguno
Piridoxina	Ninguno
Ácido Fólico	Ninguno
Magnesio	Ninguno
Zinc	Ninguno

Fuente: Adaptado de Rosado *et al.*, 1999

A demás un mix también puede ser añadido con aditivos que le den características al pan de sabor y aroma, o buscar que las piezas elaboradas tengan una mayor vida de anaquel.

## 2.7. Estudios previos de nixtamalización de maíz

En la actualidad existen muchos estudios acerca de nixtamalización de maíz, sin embargo, existe poca información sobre el tratamiento aplicado en granos de trigo. Algunos ejemplos sobre estudios realizados en maíz son: “Nixtamalized flour from quality protein maize (*Zea mays* L). optimization of alkaline processing” (Milan-Carrillo *et al.*, 2004), “Effect of annealing from traditional nixtamalisation process on the microstructural, thermal, and rheological properties of starch and quality of pozole” (Figueroa *et al.*, 2013), “Efecto de la concentración de sales de calcio en la gelatinización del almidón durante el proceso de nixtamalización ecológico y tradicional” (Santiago, 2014), “The effect of enzymes and hidrocolloids on the texture of tortillas from fresh nixtamalized masa and nixtamalized corn flour” (Gutierrez, 2004), “Sistema para producir harina nixtamalizada con transporte de bajo cizallamiento” (Ortega-Moody, 2011) Nixtamalization assisted with ultrasound: effect on mass transfer and physicochemical properties of nixtamal, masa and tortilla (Moreno-Castro *et al.*, 2015) Nixtamalization in two steps with diferent calcium salts and the relationship with chemical, texture and termal properties in masa and tortillas (Ruiz-Gutierrez *et al.*, 2010).

# OBJETIVOS

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Aplicar el método de nixtamalizado tradicional y modificado al trigo duro para la obtención de premezclas con características físicas y químicas deseables.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar y aplicar un método modificado de nixtamalización del trigo duro.
- Obtener las harinas de trigo nixtamalizado y modificado para analizar sus propiedades físicas y químicas.
- Desarrollar premezclas con harina de trigo suave (control), harina de trigo obtenida por el proceso de nixtamalización y el proceso modificado a diferentes concentraciones.

# HIPÓTESIS

## **HIPÓTESIS**

La aplicación de los procesos de nixtamalización tradicional y modificada al trigo duro, permitirá la obtención de pre-mezclas de harinas para el desarrollo de formulaciones alimenticias, para su posible aplicación en la industria panadera.

# JUSTIFICACIÓN

## JUSTIFICACIÓN

La nixtamalización de cereales es una tecnología térmica que ha permitido obtener diversos productos para facilitar su consumo. En el trigo, este proceso ocasiona cambios deseables en su estructura química para la obtención de productos de panificación. Algunos de estos son las harinas pre-cocidas que, al ser mezcladas con otros ingredientes, disminuyen el tiempo de elaboración de los productos de consumo, simplifican el trabajo, minimizando errores de formulación, se obtiene mayor rendimiento de las materias primas, además de que se mejora la calidad de los productos finales. A este tipo de formulaciones se les conoce como pre-mezclas.

Dado que el proceso de nixtamalización en cereales provee beneficios técnico-económicos, es necesario llevar a cabo un estudio comparativo entre el proceso tradicional y modificado del trigo duro, con la finalidad de evaluar su efecto en las características fisicoquímicas de éste, para el desarrollo de pre-mezclas con características deseables para su futura aplicación en la industria panadera.

# MATERIALES Y MÉTODOS

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Localización del proyecto**

El método propuesto de nixtamalización fue desarrollado en el laboratorio de procesamiento de materiales orgánicos ubicado en el segundo piso del edificio A del CINVESTAV de Querétaro, en el año 2016 bajo la dirección del Dr. Juan de Dios Figueroa Cárdenas; los análisis fisicoquímicos, así como la elaboración de las premezclas se llevaron a cabo en el taller de cereales, ubicado en la Facultad de Química de la unidad el Cerrillo, de la Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, en el año 2017.

#### **3.2. Materiales**

Trigo duro (contenido de humedad 12.7%,) proporcionado por Molinos Bunge de México S.A de C.V. (Toluca, Estado de México). El hidróxido de calcio  $\text{Ca(OH)}_2$  fue comprado en un mercado de la ciudad de Toluca, Estado de México. Las mezclas se hicieron con harina Manitova®.

#### **3.3. Preparación de los trigos nixtamalizados**

##### **3.3.1. Limpieza del grano de trigo**

Se pesaron 2 kg de trigo, se limpió manualmente eligiendo los granos sanos descartando los granos dañados, y eliminando la basura y materia extraña tal como trozos de madera, paja, tierra, piedras y pasto.

##### **3.3.2. Proceso tradicional de nixtamalización**

El trigo duro fue colocado en muestras de 500 g en vasos de precipitados de 2 litros, se añadió el doble de agua y 1% de  $\text{Ca(OH)}_2$ ; se cocinó durante 35 min a una

temperatura de 90 °C, el nixtamal se dejó en reposo durante 16 horas a temperatura ambiente. Finalizadas las 16 horas, el nixtamal se lavó tres veces con abundante agua para eliminar el líquido de cocción (nejayote). Se expandieron los granos de trigo en una charola de acero inoxidable y se dejaron secar en una incubadora marca NOVATECH a 35°C por 24 horas.

### **3.3.3. Proceso de Nixtamalización Modificada**

El trigo duro fue colocado en muestras de 500 g en vasos de precipitados de 2 litros, se añadió el doble de agua y 1% de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; se cocinó por 10 min a 60 °C el nixtamal se dejó en reposo durante 16 horas a temperatura ambiente. Finalizadas las 16 horas, el nixtamal se lavó tres veces con abundante agua para eliminar el exceso de nejayote. Se expandieron los granos de trigo en una charola de acero inoxidable y se dejaron secar en una incubadora marca NOVATECH a 35°C por 24 horas.

### **3.4. Almacenamiento**

Al finalizar, las harinas obtenidas se colocaron en bolsas herméticas etiquetadas de acuerdo a la siguiente abreviación Harina de trigo nixtamalizada tradicional (HNT), Harina de trigo nixtamalizada modificada (HNM), Harina de trigo sin nixtamalizar (HSN), se colocó la fecha de la elaboración y se guardó debidamente en un almacén fresco, limpio y libre de humedad.

### **3.5. Análisis fisicoquímicos del grano de trigo**

#### **3.5.1. pH del nejayote**

Se tomaron muestras de 100 mL de nejayote y se midió el pH por triplicado en un potenciómetro marca Conductronic® pH130, anterior a la medición del pH se realizó una calibración con buffer de pH 4 y pH 12.

### 3.5.2. Color del grano

Se midió el color de los granos de trigo sometidos a los tratamientos de nixtamalización tradicional y modificado, se realizó la medición después del reposo de 16 horas en solución alcalina y una vez que los granos se encontraron completamente secos, también se midió el color en el grano sin tratamiento, para ello se siguió el método 14-22 (AACC International, 2000) se utilizó un colorímetro Konika Minolta Chroma Meter modelo CR-410 (Konika Minolta Sensing Inc., Tokio, Japón). Antes de hacer las mediciones se calibro en una placa de calibración blanca donde los parámetros fueron  $L^*$  97.63,  $a^*$  0.78 y  $b^*$  0.25. Se tomó el color de los granos en tres diferentes puntos. La diferencia neta de color se determinó a través de la ecuación (Minolta, 1998):

$$(\Delta E^*) = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Donde  $\Delta E^*$  indica la diferencia neta de color, pero no en qué sentido son diferentes los colores,  $\Delta L^*$  la diferencia de luminosidad,  $\Delta a^*$  la diferencia de verde a rojo y  $\Delta b^*$  la diferencia de azul a amarillo.

### 3.5.3. Tamaño de grano

Se midió el diámetro máximo y mínimo de los granos de trigo con un vernier marca Mitutoyo®, Japón de 50 granos de trigo sanos elegidos al azar, de trigo duro nixtamalizado tradicional seco y húmedo, trigo duro nixtamalizado modificado seco y húmedo y de trigo duro sin nixtamalizar.

### **3.6. Análisis fisicoquímicos de las harinas**

#### **3.6.1. Molienda de granos**

Se molieron las muestras de trigo duro nixtamalizado, trigo duro nixtamalizado modificado y trigo duro sin nixtamalizar en un Molino mini PULVEX® y recolectado la muestras en bolsas herméticas, posteriormente se sometieron a una segunda rotura en un molino para especias marca Krups® GX4100 hasta obtener el tamaño de partícula deseado.

#### **3.6.2. Tamaño de partícula**

Una muestra de 100 g de cada tipo de harina se colocó en tamices con mallas: Núm. 35 (500 µm), 70 (210 µm), 80 (177 µm), 100 (149 µm), 120 (125 µm) y charola. Después de someter a agitación durante 3 min en un tamizador marca Tyler® RX-29, se separaron y pesaron las fracciones retenidas en las diferentes mallas.

#### **3.6.3. Color de las harinas**

Se midió el color de los tres tipos de harinas, para ello se siguió el método 14-22 (AACC International, 2000) se utilizó un colorímetro Konika® Minolta Chroma Meter modelo CR-410 (Konika Minolta Sensing Inc., Tokio, Japón). Antes de hacer las mediciones se calibro en una placa de calibración blanca donde los parámetros fueron  $L^*$  97.63,  $a^*$  0.78 y  $b^*$  0.25. Se tomó el color de las harinas en tres diferentes puntos de las harinas. La diferencia neta de color se determinó a través de la ecuación (Minolta, 1998):

$$(\Delta E^*) = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Donde  $\Delta E^*$  indica la diferencia neta de color, pero no en qué sentido son diferentes los colores,  $\Delta L^*$  la diferencia de luminosidad,  $\Delta a^*$  la diferencia de verde a rojo y  $\Delta b^*$  la diferencia de azul a amarillo.

#### **3.6.4. Contenido de gluten**

Se determinó el contenido de gluten húmedo en las harinas con base en el método de lavado automático (ICC/N° 137/1), con algunas modificaciones como en un vaso de precipitados se colocó 50 mL de agua en el cual se disolvieron 10 g de sal. Se pesaron 25 g de harina y se le agregó agua hasta obtener una masa homogénea. Se suspendió la masa de harina en la solución de agua con sal durante 20 min. Se lavó la masa con agua corriente y circulante oprimiendo levemente contra la palma de la mano durante 15 min o hasta obtener una masa elástica, se dejó reposar 2 min y se pesó en una balanza semianalítica (De la Horra, 2012).

#### **3.6.5. Perfil de viscosidad**

Para realizar el perfil de viscosidad, las muestras de nixtamal se trituraron y secaron a temperatura ambiente por 48 horas. Posteriormente esas muestras se molieron hasta harina y tamizaron con la malla US 60 (250  $\mu\text{m}$ ). La curva viscoamilográfica se determinó con un equipo Rapid Visco Analyzer Super 4 (Newport Scientific PTY LTD, Sydney, Australia), mediante el método citado por Narváez *et al.*, (2006). Se pesaron 4 g de harina previamente molida y cribada con la malla US 60 (250  $\mu\text{m}$ ) y se suspendieron en 24 mL de agua destilada. La mezcla se calentó de 50 a 92 °C por 8.5 min, luego se mantuvo a 92 °C por 5 min y se enfrió a 50 °C por 8.5 min. Durante el desarrollo de esta prueba la computadora registró automáticamente la viscosidad en cP y la temperatura (°C) de la muestra contra el tiempo (min), resultando una curva de viscosidad (gelatinización-retrogradación) llamada también viscoamilograma. Con estos datos se determina la temperatura inicial de gelatinización (temperatura de pasting), pico de viscosidad máxima, tiempo al pico de viscosidad máxima, la viscosidad mínima, la viscosidad final y la viscosidad de retrogradación.

### **3.7. Análisis fisicoquímicos a premezclas de harina**

#### **3.7.1. Capacidad de agua subjetiva (CAAS)**

El CAAS es la cantidad de agua que absorbe la harina para formar una masa de consistencia apropiada. El CAAS se determinó pensando 100 g de las harinas y agregando lentamente agua mientras se amasa adecuadamente hasta obtener una masa de buena consistencia, el CAAS se midió en mezclas de HNM, HNT, HSN al 5%, 10% y 20%. La cantidad de agua absorbida de registro como la capacidad de absorción de agua de las harinas.

#### **3.7.2. Pruebas de fermentación**

Se realizaron masas de mezclas de harina comercial Manitoba® de 50 g cada una donde variaba la cantidad de HNM, HNT, así como harina de trigo sin nixtamalizar de 5%, 10% 20% y 100% fueron colocados en probetas graduadas y se midió la cantidad de CO<sub>2</sub> que generaba mediante el cambio de volumen, dicho cambio se registró cada 5 min durante 90 min.

#### **3.7.3. Contenido de gluten de premezclas**

Se determinó el contenido de gluten húmedo en las mezclas de las harinas HNM, HNT y HSN al 5%, 10% y 20% con base en el método de lavado automático (ICC/N° 137/1), con algunas modificaciones como en un vaso de precipitados se colocó 50 mL de agua en el cual se disolvieron 10 g de sal. Se pesaron 25 g de harina y se le agregó agua hasta obtener una masa homogénea. Se suspendió la masa de harina en la solución de agua con sal durante 20 min. Se lavó la masa con agua corriente y circulante oprimiendo levemente contra la palma de la mano durante 15 min o hasta obtener una masa elástica, se dejó reposar 2 min y se pesó en una balanza semianalítica.

#### **3.7.4. Proteína**

Se obtuvieron mezclas de harina comercial Manitoba® con HNM, HNT y HSN al 5%, 10% y 20% y se determinó el porcentaje de proteína total de acuerdo a el método AACC Method 46-12.

#### **3.7.5. Análisis estadístico**

Todas las mediciones se realizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existieron diferencias significativas con un nivel de confianza del 95%, utilizando un software estadístico.

Cuando el análisis de varianza demostró diferencias significativas entre las muestras, se aplicó la prueba Tukey como método de comparación múltiple, para validar las diferencias existentes entre las medias.

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Preparación de muestras

#### 4.1.1. pH

El pH al cual se lleva a cabo el proceso de nixtamalización es de 11 a 12 y es uno de los principales factores que disminuyen la concentración de antocianinas en el maíz debido a que estos compuestos son solubilizados en el nejayote por la alcalinidad de la solución y las altas temperaturas (Markakis, 1982; Escalante-Aburto *et al.*, 2013)

La alcalinidad del pH inhibe la actividad microbiana y ayuda a la conservación de los productos alimenticios además reduce la concentración de aflatoxinas (Reguera, 2000)

El promedio del pH del trigo nixtamalizado modificado fue de  $11.71 \pm 0.34$ , el cual es lo suficientemente alto como para provocar la inhibición de actividad microbiana y la aparición de aflatoxinas. Así mismo se comprobó que el pH del nejayote obtenido de una nixtamalización tradicional de trigo es al igual que el maíz, alcalina alcanzando valores de  $12.73 \pm 0.05$ .

### 4.2. Características físicas y químicas del grano de trigo

#### 4.2.1. Color del grano

El trigo harinero se clasifica por el color del grano en el caso del trigo duro el color que se espera es el ambar, la tabla 8 presenta los parámetros de color en escala ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) obtenido de los granos de trigo tratados con nixtamalización modificada y tradicional. El color del grano de trigo sin tratamiento presentó el valor de luminosidad ( $L^*$ ) más alto, es decir, presenta una mayor claridad en comparación con los trigos tratados, así mismo registró valores positivos de  $a^*$  y  $b^*$  lo que indica que el color se posiciona en los matices rojos y amarillos. Los trigos con tratamientos húmedos presentaron diferencia significativa en los parámetros  $L^*$  y  $a^*$ , en trigos secos todos fueron diferentes entre sí, en la tabla 9 se muestra el cambio de color neto, donde podemos observar que no existe un cambio perceptible ante el ojo

humano entre el grano de trigo nixtamalizado y modificado húmedo, sin embargo, en la comparación de color entre los granos tratados secos y el control si existe una diferencia neta de color perceptible ante el ojo humano.

**Tabla 8.** Evaluación del color de grano de trigo duro, seco y húmedo, sometido a tratamiento de nixtamalización modificada y tradicional.

Espacio de color	Húmedo		Seco		GSN (control)
	GNM	GNT	GNM	GNT	
L*	18.03 ± 1.29a	16.58 ± 1.46b	15.70 ± 0.72ac	13.93 ± 1.52bc	56.61 ± 1.94abc
a*	4.52 ± 0.81a	4.53 ± 0.57b	4.72 ± 0.19ab	2.00 ± 0.07abc	5.32 ± 0.69bc
b*	21.05 ± 1.60ab	14.07 ± 0.90ab	17.44 ± 0.75abc	6.58 ± 0.26abc	21.90 ± 1.12abc

GNM = Grano de trigo nixtamalizado modificado. GNT = Grano de trigo nixtamalizado tradicional. GSN = Grano de trigo sin nixtamalizar. Medias con letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ).

**Tabla 9.** Comparación de la diferencia neta entre los distintos tratamientos aplicados a los granos de trigo y su comparación con el control.

$\Delta E^*$	Húmedo		Seco		GSN (control)
	GNM	GNT	GNM	GNT	
7.13	✓	✓			
11.33			✓	✓	
41.16			✓		✓
43.03				✓	✓

GNM = Grano de trigo nixtamalizado modificado. GNT = Grano de trigo nixtamalizado tradicional. GSN = Grano de trigo sin nixtamalizar.  $\Delta E^*$  = Diferencia neta de color.

El color del trigo es determinado por una capa de pigmentos localizada entre el endospermo y las capas externas del pericarpio (Peña *et al.*, 1998), en esta zona se localizan hemicelulosas, pentosanos y b-glucanos los cuales son azúcares que llevan a cabo reacciones de Maillard ya que el tratamiento de nixtamalización es en sí una cocción (Gambarotta, 2005).

#### 4.2.2. Tamaño del grano

El tamaño del grano cambia dependiendo la variedad, el tratamiento de cultivo y siembra, las condiciones ambientales y su constitución genética (Peña *et al.*, 2008). El promedio de tamaño a lo largo en mm del trigo control es de 5.89 y a lo ancho de 3.08, una vez que se nixtamalizaron se midió el tamaño en húmedo con valores de 4.09 y 4.05 a lo ancho, 6.46 y 6.11 a lo largo de grano nixtamalizado modificado y tradicional respectivamente, es decir, presentó un incremento de 1 mm ya que el

trigo estuvo sumergido en el nejayote 16 horas, esto hace que el trigo tenga una absorción de agua e incremente su volumen a lo largo y ancho.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos húmedos a lo largo y ancho, por otra parte, los valores de trigo a lo ancho de GNM y GNT en seco no fueron significativamente diferentes y a lo largo presentó un decremento de absorción de agua por el proceso de secado que se requiere para la nixtamalización.

**Tabla 10.** Tamaño de grano de trigo duro, seco y húmedo, sometido a tratamiento de nixtamalización modificada y tradicional.

Tamaño de grano (mm)	Húmedo		Seco		GSN (control)
	GNM	GNT	GNM	GNT	
Mínimo	4.09 ± 0.24a	4.05 ± 0.16a	3.78 ± 0.31abc	3.93 ± 0.19abc	3.08 ± 0.31abc
Máximo	6.46 ± 0.50ab	6.11 ± 0.35ab	6.18 ± 0.34abc	5.96 ± 0.23abc	5.84 ± 0.39abc

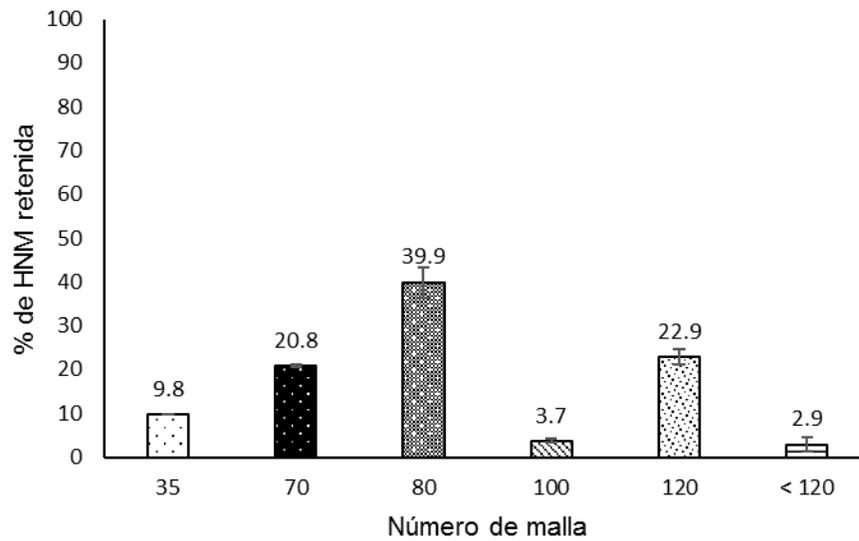
GNM = Grano de trigo nixtamalizado modificado. GNT = Grano de trigo nixtamalizado tradicional. GSN = Grano de trigo sin nixtamalizar. Medias con letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ).

Olán *et al.* (2012) comparó el tamaño de diferentes tipos de trigo con variaciones de riego y genotipos y encontró valores similares en el tipo de trigo de la cruza Rebeca F2000 de genotipos y de su interacción por riego obteniendo valores de 6.08 mm a lo largo y 1.3 mm a lo ancho para el primero y 5.48 mm de largo y 1.2 de ancho para el segundo.

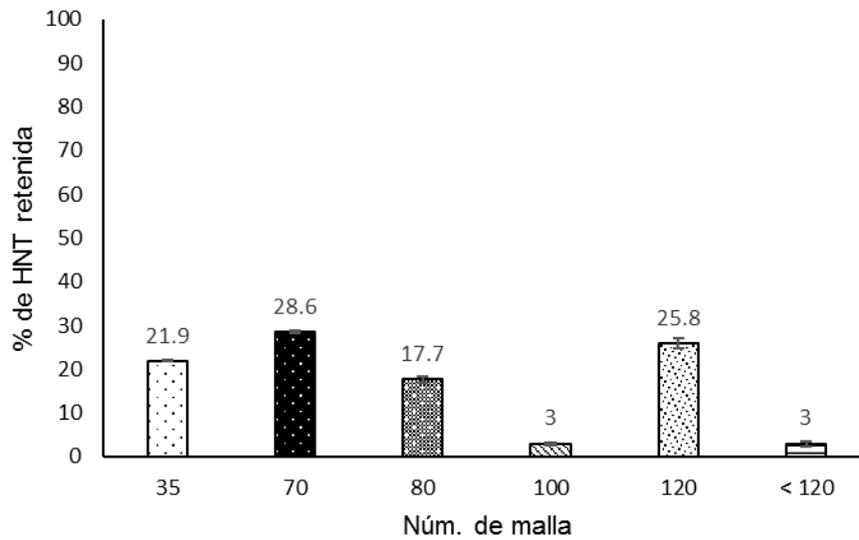
### 4.3. Características físicas y químicas de las harinas

#### 4.3.1. Tamaño de partícula

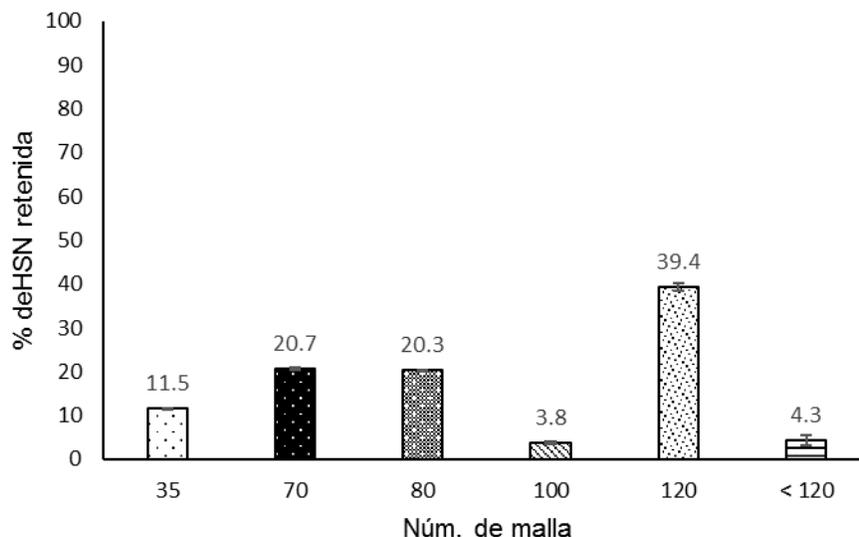
La figura 2,3 y 4 muestran la distribución de partículas de HNM (Harina nixtamalizada modificada), HNT (Harina nixtamalizada tradicional) y HSN (Harina sin nixtamalizar), podemos observar en la figura 2 que para la HNM la mayor cantidad de partículas fue retenida en la malla 80 mientras y que para la HNT la malla 70 fue la que mayor contenido de harina retuvo, por lo que la HNT tiene harinas más gruesas comparadas con los otros tratamientos debido a la absorción de agua y que el granulo de almidón se vuelve más compacto.



**Figura 2.** Grafica de distribución de tamaño de partículas para HNM (Harina nixtamalizada modificada)



**Figura 3.** Grafica de distribución de tamaño de partículas para HNT (Harina nixtamalizada tradicional)



**Figura 4.** Grafica de distribución de tamaño de partículas para HSN (Harina sin nixtamalizar)

La norma NMX-F-007-1982 indica que para harinas de trigo el 98% de las partículas deberán pasar por la malla N° 70 con apertura de 212 micrones, en dicho caso ninguna harina del presente estudio cumple con la norma, sin embargo, la norma NMX-F-046-1980 para harinas de maíz nixtamalizado especifica que el aspecto de las harinas deberán ser granuloso y que al menos el 75% de las partículas deberán pasar por la malla N° 60 con apertura de 250 micrones, en el cual todas las harinas cumplen con la especificación, por lo que el tratamiento de nixtamalización y el tipo de grano le confiere a las harinas partículas más gruesas.

En el estudio realizado por Fernández-Muñoz *et al.*, en 2008 se observan tamaños de partículas mayores para harinas de maíz nixtamalizado con un procedimiento modificado en donde la mayor retención de harina se queda en la malla 40.

#### 4.3.2. Color de harinas

El color del grano es poco importante para la calidad del trigo, el color toma mayor importancia en productos elaborados con la harina, ya que para productos integrales se aprecian los colores marrones y para productos de desayuno como trigo inflado

y hojuelado se prefieren harinas refinadas donde el color es blanco. En la tabla 11 se muestran los parámetros de color tomados a las harinas con los tratamientos y el control. La muestra control presentó la mayor luminosidad, un valor positivo de  $a^* = 1.28$  (matices rojos) y un valor de  $b^* = 7.78$  (matices amarillos), las muestras de harinas con nixtamalización modificada y tradicional presentaron valores significativamente diferentes para todos los parámetros de color, valores positivos de  $b^*$  y diferencia significativa entre el control y la HNM en dicho parámetro.

**Tabla 11.** Evaluación del color de la harina de trigo duro, seco y húmedo, sometido a tratamiento de nixtamalización modificada y tradicional

Espacio de color	HNM	HNT	HSN
L*	49.12 ± 0.84ab	43.45 ± 2.82abc	49.86 ± 0.30ac
a*	2.14 ± 0.15ac	2.30 ± 0.21bc	1.28 ± 0.22abc
b*	12.20 ± 0.26abc	9.29 ± 1.12ab	7.78 ± 1.03ac

HNM = Harina de trigo nixtamalizada modificada. HNT = Harina Nixtamalizada Tradicional. HSN = Harina de trigo sin nixtamalizar. Medias con letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ).

La tabla 12 presenta la diferencia neta de color entre las muestras de harina, se puede observar que ninguna de ellas presenta diferencia perceptible ante el ojo humano.

**Tabla 12.** Comparación de la diferencia neta entre los distintos tratamientos aplicados a las harinas de trigo y su comparación con el control.

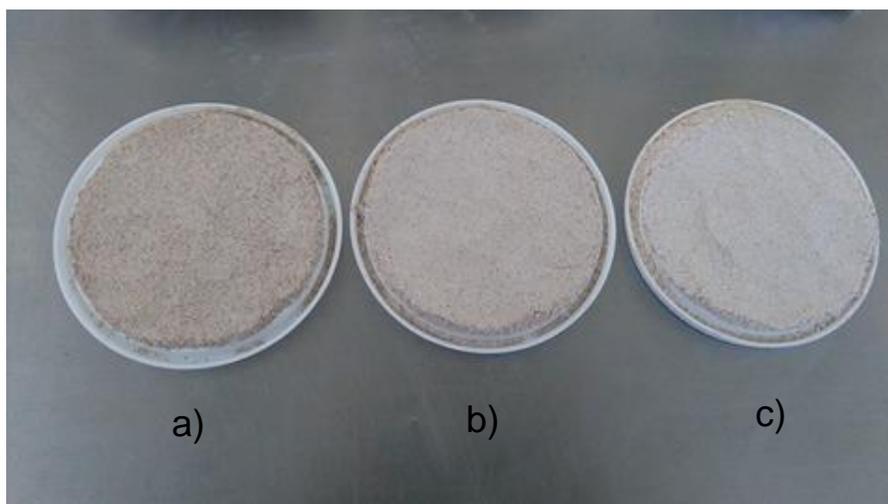
$\Delta E^*$	HNM	HNT	HSN
6.37	✓	✓	
4.56	✓		✓
6.66		✓	✓

HNM = Harina de trigo nixtamalizada modificada. HNT = Harina Nixtamalizada Tradicional. HSN = Harina de trigo sin nixtamalizar  $\Delta E^*$  = diferencia neta de color.

Existe una diferencia perceptible en los granos tratados, sin embargo, en la harina no hay diferencia, esto se explica porque como ya se había mencionado los pigmentos del trigo se encuentran entre el endospermo y las capas externas del pericarpio, una vez que se muele se obtiene el color de la combinación de todas las partes del grano, el principal azúcar libre de la harina es la sacarosa, es por ello que

cuando se somete a procesos panaderos vuelve a tener reacciones en la coloración (Peña *et al.*, 1998; Saghezzo y Molfese, 2006).

La norma NMX-F-007-1982 menciona que el color característico de las harinas deberá ser color blanco o ligeramente amarillento, algunas empresas utilizan blanqueadores u oxidantes para cumplir con la norma, en el presente trabajo no se empleó ningún tipo de aditivo y los colores obtenidos fueron los que se muestran en la figura 5.



**Figura 5.** Color de harinas a) nixtamalizada tradicional, b) nixtamalizada modificada y c) harina sin nixtamalizar

#### **4.3.3. Contenido de gluten en las diferentes harinas**

Las proteínas del gluten son proteínas de almacenamiento del trigo formadas por gliadinas y gluteninas, son de fácil aislamiento ya que son insolubles en agua. Dentro de los cereales, la harina de trigo es la única capaz de formar esta red de gluten que le confiere a la masa resistencia, viscoelasticidad y cohesividad para producir productos de panificación aireados y ligeros (Hoseney, 1994). La tabla 13 muestra la cantidad de gluten encontrado en HNT, HNM y HSN; en la nixtamalización tradicional no se encontró gluten, en la nixtamalización modificada se encontró 7.10% y en harina sin tratamiento 21.46%.

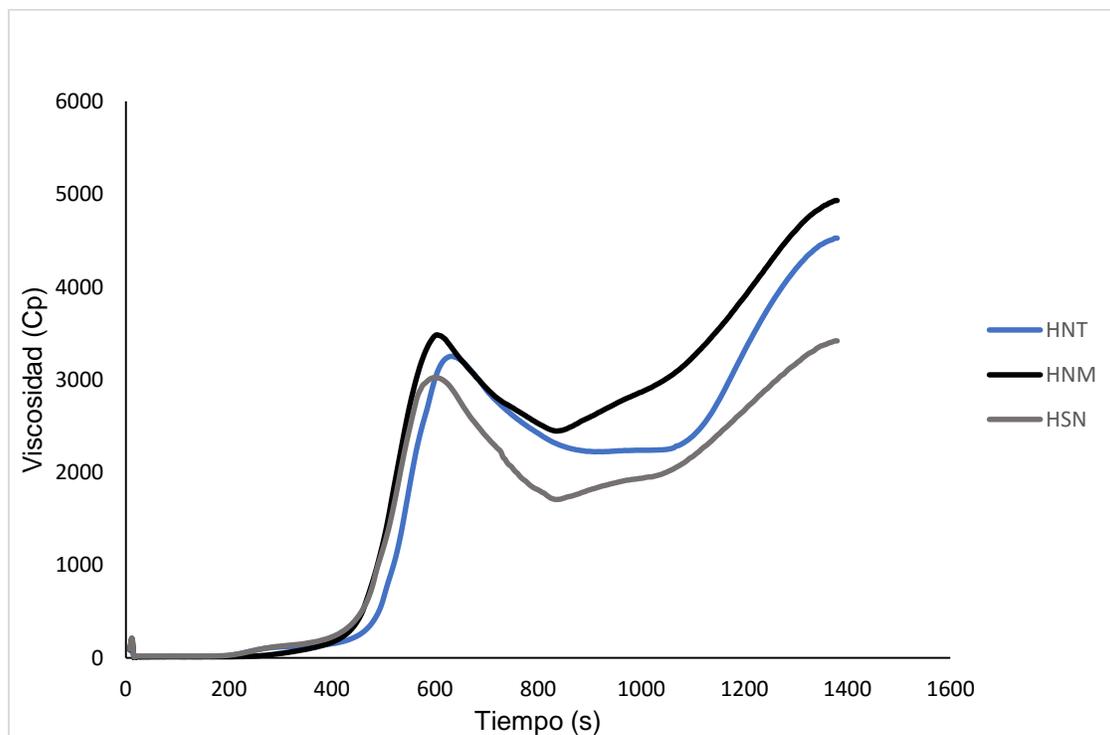
**Tabla 13.** Contenido de gluten (%) de harina nixtamalizada tradicional, modificada y sin nixtamalizar.

Harina	Código de muestra	Contenido de gluten (%)
Harina de trigo Nixtamalizada Tradicional	HNT	No presentó
Harina de trigo Nixtamalizada Modificada	HNM	7.10
Harina de trigo Sin Nixtamalizar	HSN	21.46

El trigo nixtamalizado tradicional no presentó gluten por que las proteínas se degradan con el calor, específicamente las globulinas que incluyen a las gluteninas se degradan a partir de 60 a 70 °C, este tratamiento tuvo una temperatura mucho mayor, se realizó a 95°C es por eso que se realizó un método de nixtamalización modificada en el cual la temperatura más alta es de 60°C con el objetivo de degradar lo menos posible las proteínas del gluten, si bien, a esta temperatura comienza a degradarse ya las proteínas el tiempo que se deja en este tratamiento es mucho menor 10 min, mientras que en el procedimiento tradicional el tiempo de nixtamalización es de 30 min. El método modificado pretende tener una mejor calidad de trigo, ya que, cuando hablamos de proteínas de trigo, se habla también de una calidad panadera y harinera.

De la Horra, *et al.*, 2012 cuantifico la cantidad de gluten húmedo en siete muestras de harinas de trigo de diferentes cultivares, donde sus valores fueron de 28 a 40% de gluten, valor similar al que se encontró en la harina sin nixtamalizar.

#### **4.3.4. Perfil de viscosidad**



**Figura 6.** Viscosidad del almidón de grano de trigo nixtamalizado tradicional (HNT) modificado (HNM) y sin nixtamalizar (HSN) respecto al tiempo.

La figura 6 muestra el comportamiento de viscoelasticidad de HSN, HNT, y HNM donde:

Para HNT la Temperatura de Inicio de Gelatinización (TIG) fue de 76.8 °C, el Tiempo de alcance del Pico de Viscosidad (TPV) fue de 640 s, la Viscosidad Máxima (VM) fue de 3231 cP y Viscosidad final (VF) fue de 4527 cP. Para HNM la TG fue de 75.8 °C, TPV fue de 600 s, VM fue de 3452 cP y VF fue de 4930 cP, y finalmente para HSN los valores obtenidos fueron de TIG = 79.85 °C, TPV = 608 s, VM = 3018 cP y VF = 3420 cP.

Las tres harinas comienzan su gelatinización en temperaturas similares y llegan a su pico de viscosidad en tiempos parecidos, la HSN presento la viscosidad más baja y la HNM la mayor.

La (TIG) es la temperatura a la cual los granos de almidón están absorbiendo agua y están empezando el proceso de hinchamiento, el (TPV) es el tiempo en el que

ocurre la viscosidad máxima, (VM) en este punto la mitad de los granos están totalmente hinchados y la otra mitad ha empezado a exudar sus cadenas de amilosa y amilopectina, (VF) Es el punto en que la prueba finaliza la muestra.

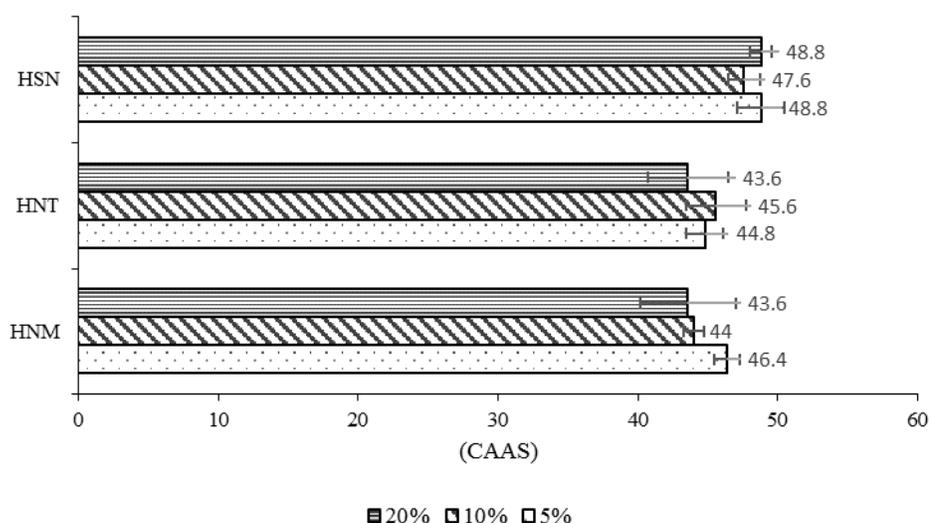
Estos valores encontrados se deben al fenómeno de templado el cual se define como un tratamiento hidrotérmico que cambia las propiedades fisicoquímicas de los almidones confiriéndole mejoras en la cristalinidad y facilitando las interacciones entre las cadenas de almidón (Jayakody y Hoover, 2008). En este trabajo el proceso de templado se da en el reposo de 16 horas en solución alcalina.

Santiago-Ramos en 2014 encontró valores similares para maíz nixtamalizado con diferentes concentraciones de sales valores altos para la temperatura de gelatinización y una reducción de los gránulos de almidón durante el templado esto es atribuido a la reducción del hinchamiento de los granos de almidón y a la exudación de las cadenas de amilosa y el incremento entre las cadenas de almidón y a la interacción de los siguientes factores: aumento en la perfección cristalina, disminución de la hidratación, interacciones entre amilosa-amilosa, el aumento de las fuerzas de unión intragranulares, el reforzamiento del gránulo y la formación de complejos V-amilosa-lípido (Jayakody y Hoover, 2008)

#### **4.4. Combinación de las harinas para obtener premezclas alimenticias**

##### **4.4.1. Capacidad de absorción de agua subjetiva (CAAS)**

La capacidad de absorción de agua es la cantidad de agua que absorbe la harina para obtener una masa de consistencia apropiada para la preparación de alimentos panaderos (Flores-Farías *et al.*, 2002) en la figura 7 se presenta la cantidad de absorción de agua subjetiva en premezclas de harinas nixtamalizadas con método tradicional y modificado, así como el control mezclado con 5, 10 y 20% de harina comercial Manitoba®.



**Figura 7.** Capacidad de absorción de agua subjetiva en premezclas de HSN, HNT y HNM. El control presentó la mayor absorción de agua subjetiva en las mezclas de 20% y 5% y las harinas contratamiento tradicional al 20% y modificado al 5% presentaron la menor absorción de agua. Todos los tratamientos mostraron diferentes variaciones entre harinas y tratamientos, pero siempre con valores mayores a 40% encontrándose diferencia significativa entre el CAAS del HNT y HSN al 5%.

Enwere *et al.*, (1998) demostró que la desnaturalización de proteínas incrementa la accesibilidad a aminoácidos polares afines al agua incrementando la CAAS sin embargo los alimentos son matrices complejas que requiere de análisis electroforéticos para realizar dicha aseveración.

**Tabla 14.** Comparación del contenido de gluten (%) y capacidad de absorción de agua subjetiva (CAAS) en premezclas de harina de trigo sin nixtamalizar (HSN), harina de trigo nixtamalizada tradicional (HNT) y modificada (HNM).

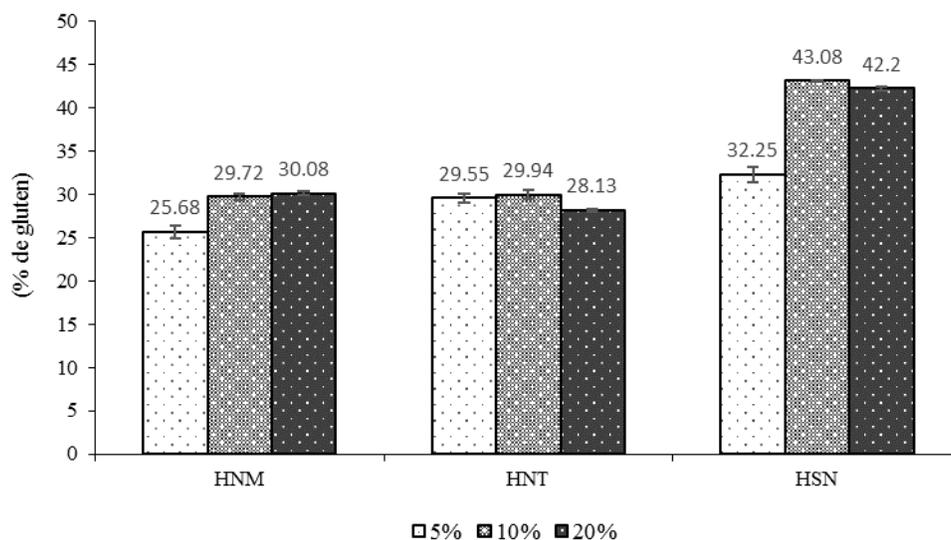
% de premezcla	HNM		HNT		HSN	
	Gluten (%)	CAAS	Gluten (%)	CAAS	Gluten (%)	CAAS
0	28.84a	48.40a	28.84b	48.40b	28.84c	48.40c
5	25.68abc	46.40a	29.55abc	44.80bc	32.25abc	48.80bc
10	29.72ac	44.00a	29.94bc	45.60b	43.08abc	47.60c
20	30.08abc	43.60a	28.13abc	43.60b	42.20abc	48.80c

Medias con letras diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ).

La capacidad para absorber agua es considerada una propiedad funcional de las proteínas en productos como sopas, salsas y productos horneados (Granito *et al.*, 2004) adicionalmente Deshpande *et al.*, (1982) enunciaron que la CAAS no es necesariamente una función de su contenido proteico, y que existen otros componentes de naturaleza no proteica que puede también influir en la CAAS, dicha afirmación se puede observar en la tabla 14 donde las muestras de HNM, HNT HSN en premezcla al 5,10 y 20 no tienen relación entre sí con el contenido proteico y la CAAS. Tal capacidad depende de las interacciones proteína-agua y agua-agua, así como de acciones físicas de la capilaridad en la nueva estructura formada, además los carbohidratos también contribuyen a la CAAS (Mwasaru *et al.*, 1999; Inyang y Nwadinmkpa, 1992).

#### 4.4.2. Contenido de gluten en premezclas

El contenido de gluten es significativamente menor en las premezclas y tratamientos comparados con el control, sin embargo, presenta un incremento en ya que incluye el contenido de proteínas de la harina comercial Manitoba® como se puede apreciar en la figura 8 todos los tratamientos contienen gluten, a diferencia de los resultados solo para las harinas de los tratamientos donde la HNT no presentó gluten



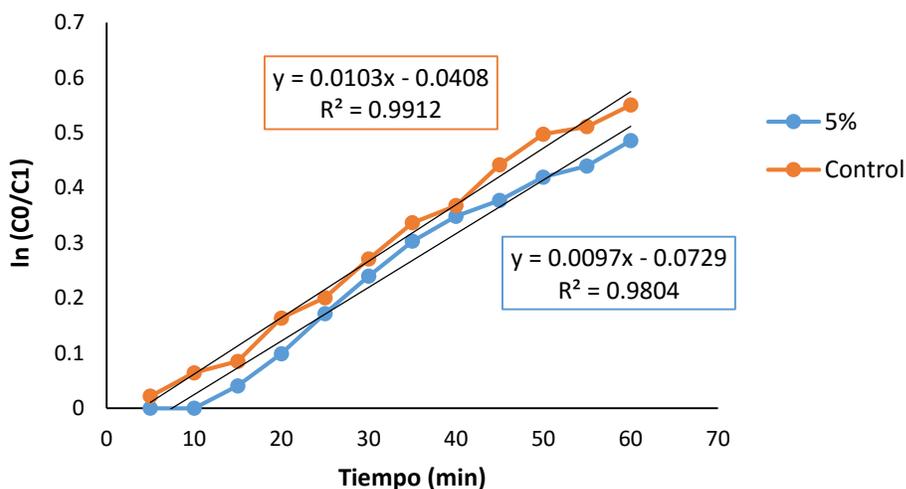
**Figura 8.** Contenido de gluten (%) en las diferentes premezclas de harina de trigo (HNM, HNT, HSN).

La premezcla de harina con mayor contenido de gluten fue la de HSN y los tratamientos presentaron menor contenido de gluten, esto por la desnaturalización de proteínas que se explicó en el apartado 4.3.3.

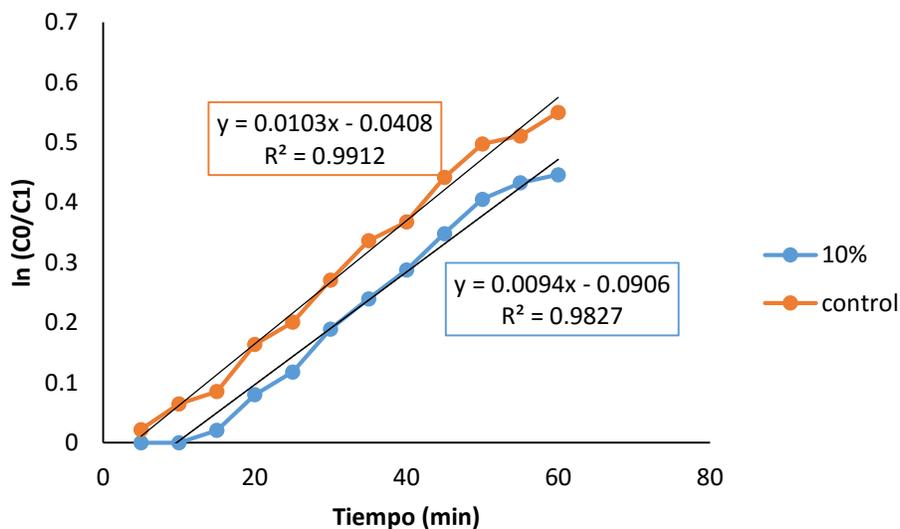
#### 4.4.3. Prueba de fermentación

- Pruebas de fermentación en premezclas con trigo duro nixtamalizado modificado

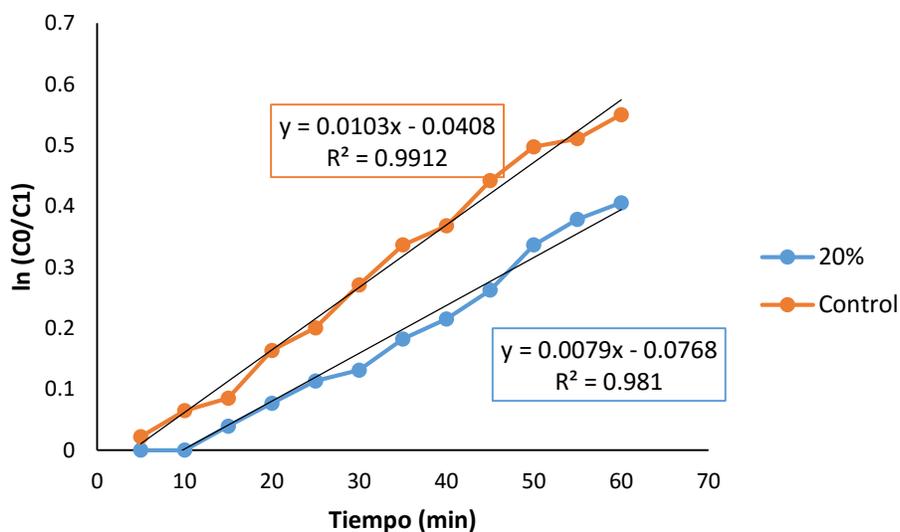
Se lleva a cabo una fermentación alcohólica por medio de levaduras que transforma los azúcares en etanol, CO<sub>2</sub>, y otros productos secundarios. El objetivo de la fermentación es la producción de CO<sub>2</sub> para que el producto esponje y tenga mejor sabor (Mesas, 2002) Las siguientes graficas muestran la velocidad con la que las premezclas realizan la fermentación lo cual nos indica la capacidad de extensión de la masa de acuerdo al tipo de trigo utilizada (Martínez & Gómez, 2017)



**Figura 9.** Velocidad de fermentación para la premezcla de harina al 5% con HNM.



**Figura 10.** Velocidad de fermentación para la premezcla de harina al 10% con HNM.



**Figura 11.** Velocidad de fermentación para la premezcla de harina al 20% con HNM.

**Tabla 15.** Velocidad de fermentación y ajuste de linealidad de premezclas de harinas de trigo nixtamalizada modificada.

	5%	10%	20%	Control
<b>K</b>	0.0097	0.0094	0.0079	0.0103
<b>r<sup>2</sup></b>	0.98	0.98	0.98	0.99

K = constante de velocidad de fermentación. r<sup>2</sup> regresión lineal.

Conforme la K es más grande la capacidad de fermentación es más rápida, de acuerdo a esto la premezcla con 5% de trigo duro nixtamalizado modificado y el 10% presentan una fermentación más rápida, sin embargo, la premezcla de 20% y 100% presentan una capacidad de fermentación más lenta debido a la presencia de fibra de trigo duro que se encuentra añadida la cual interfiere con la formación de la red de gluten de las masas (Baiano *et al.*, 2009).

- Pruebas de fermentación en premezclas con trigo duro nixtamalizado tradicional

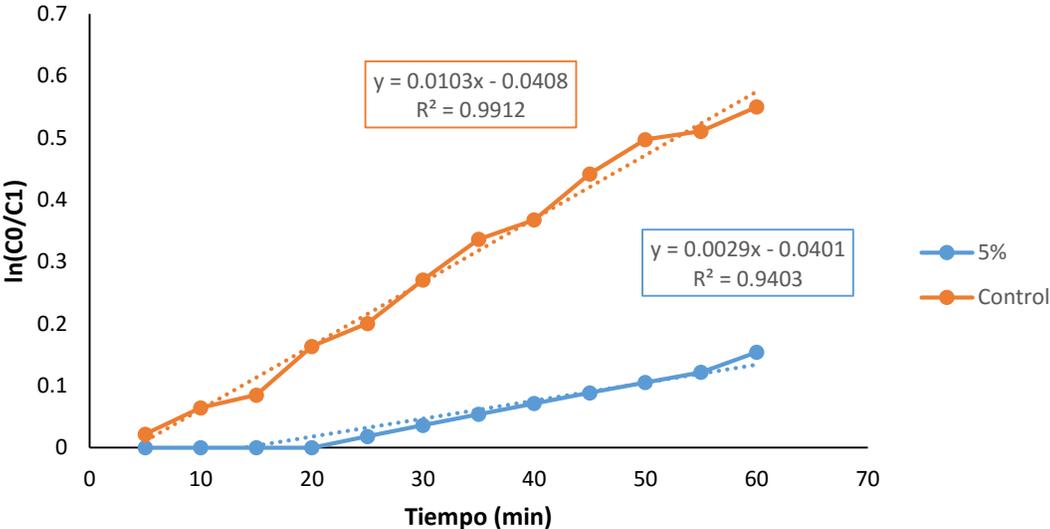
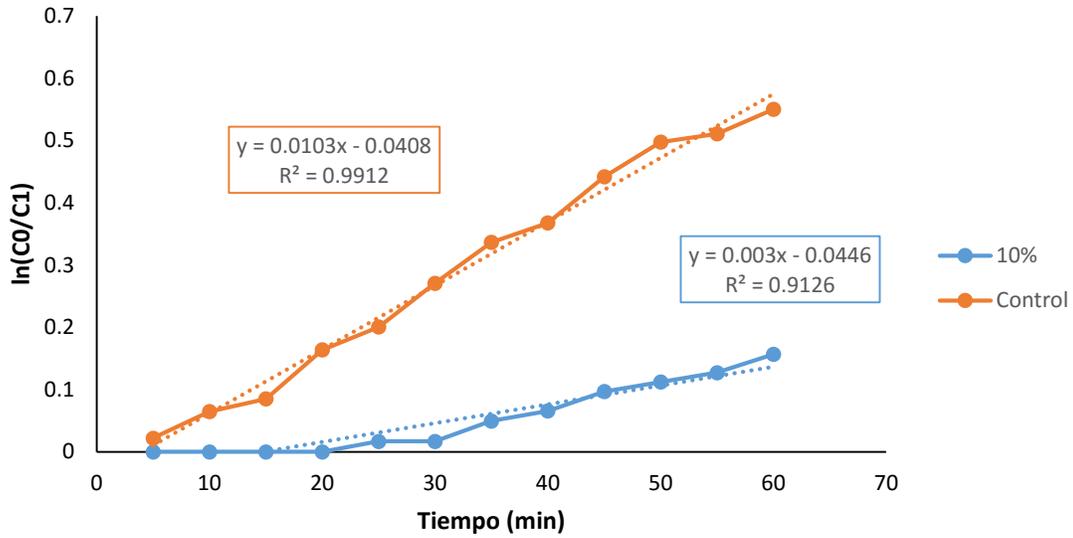
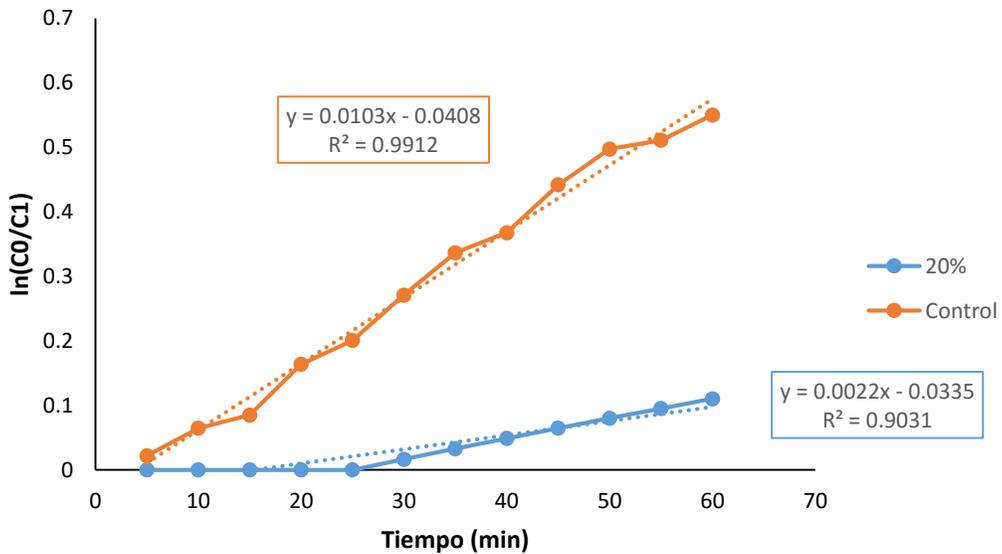


Figura 12. Velocidad de fermentación para la premezcla de harina al 5% con HNT.



**Figura 13.** Velocidad de fermentación para la premezcla de harina al 10% con HNT.



**Figura 14.** Velocidad de fermentación para la premezcla de harina al 20% con HNT.

**Tabla 16.** Velocidad de fermentación y ajuste de linealidad de premezclas de harinas de trigo nixtamalizada tradicional.

	5%	10%	20%	Control
<b>K</b>	0.003	0.003	0.022	0.103
<b>r<sup>2</sup></b>	0.940	0.913	0.903	0.991

K = constante de velocidad de fermentación. r<sup>2</sup> regresión lineal.

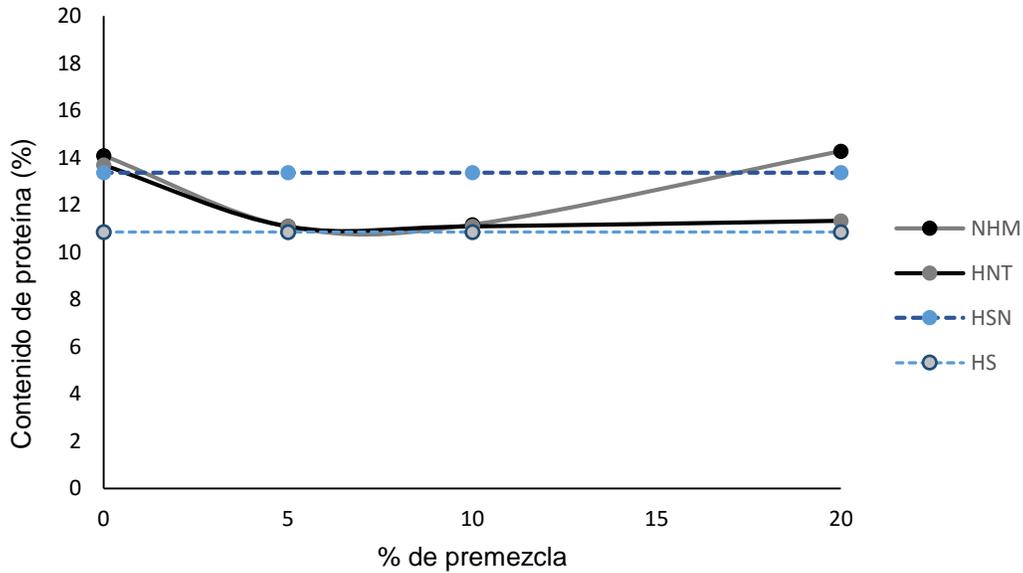
Para formar una masa para panificación son necesarios ingredientes tales como harina, agua, sal, y levadura, los cuales son mezclados por medio de un amasado mecánico o manual donde las partículas se hidratan lentamente y se va formando una red tridimensional de gluten lo que a su vez se traduce como una masa cohesiva, extensible y con capacidad de retener gases (Galindo, 2016) las pruebas para las premezclas con HNT presentaron menor rapidez de fermentación que las HNM ya que en el tratamiento tradicional existe una presencia menor de proteínas de gluten por la desnaturalización que sufren a causa del tratamiento que presenta.

#### **4.4.4. Proteína**

Osborne, 1924 clasificó las proteínas del trigo por su solubilidad dando como resultado las albúminas, globulinas, gliadinas y gluteninas.

La norma NMX-F-046-1980 para harinas de maíz nixtamalizado especifica que el contenido de proteína deberá ser mínimo del 8%, mientras que la NMX-F-007-1982 para harinas de trigo refiere que la cantidad de proteína que deberá contener para harinas grado galletas mínimo 9%, en ambos casos todas las harinas cumplen con dichas normas.

La harina de trigo duro presenta mayor contenido de proteína una vez que se le realiza el tratamiento de nixtamalización modificado y en la premezcla al 20% mientras que la harina estándar, es decir, harina marca Manito® tuvo el menor porcentaje de proteína con 10.85% un valor que fue superado por todos los tratamientos y todas las premezclas, lo que refleja la importancia de mezclar las harinas de trigo.



**Figura 15.** Contenido de proteína (%) de harina de trigo (HNM, HNT, HSN), y estándar en pmezclas al 5%, 10% y 20%.

Los valores de proteína encontrados en el presente trabajo se encontraron dentro de los reportados por otros autores como Corona y Garduño en 2016 los cuales reportaron rangos entre 10.8- 14.2% para diez tipos de genotipos de trigo, incluso otros autores reportan valores más bajos de proteína Islas *et al.*, 2005 presentó datos de 9.1 a 13.3% en harinas de trigo de grado panadero.

# CONCLUSIONES

## 5. CONCLUSIONES

El proceso de nixtamalización modificado resultó ser mejor con respecto al proceso tradicional, debido a que se lleva a cabo en un tiempo menor de procesamiento, y preserva mejor el contenido de gluten.

El color del trigo se vio modificado por los tratamientos de nixtamalización presentando una diferencia perceptible ante el ojo humano, así mismo el tamaño de grano aumentó un milímetro con ambos tratamientos de nixtamalización, debido a la absorción de agua que se presenta durante el reposo de 16 horas.

El color de las harinas no presentó diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) y se mantuvo con características deseables para la elaboración de productos de panificación. Estas presentaron un tamaño de partícula del 39.9% para el tratamiento de nixtamalización modificado retenido en la maya con número 80 y 28.6% para el tratamiento tradicional retenido en la maya con número 70 siendo más fino para el primero.

El contenido de gluten fue mayor en las pre-mezclas obtenidas con el proceso modificado de nixtamalización.

La capacidad de absorción de agua subjetiva (CAAS) no presentó diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre el control y las harinas con tratamientos.

Se encontró una temperatura de gelatinización menor para la harina de trigo modificada con respecto a la harina sin tratamiento, debido a que en el primero existe un proceso de pre-gelatinizado, haciendo que la viscosidad del producto obtenido también fuese mayor.

De acuerdo a los análisis cinéticos, se encontró que la pre-mezcla elaborada con el 10% de harina de trigo modificada, leudó de forma más rápida.

# RECOMENDACIONES

Hacer análisis HPLC para la identificación proteínas presentes en harinas.

Realizar pruebas con las harinas elaborando productos panaderos como: tortillas, pan para pizza, chapata o panes planos con diferentes porcentajes de mezclas, para determinar cuál producto es el más idóneo.

Cuantificar e identificar aflatoxinas y comparar su contenido con las presentes en trigos frescos y dañados, aplicar a éstos el tratamiento de nixtamalización para observar su eficacia.

Realizar un estudio de digestibilidad de trigo duro y de trigo con tratamientos de nixtamalización.

# REFERENCIAS

## REFERENCIAS

Ao, Z. y Jane, J. L. (2007). Characterization and modeling of the A and B granule starches of wheat, triticale, and barley. *Carbohydrate Polymers*, 67,46-55.

Agrosíntesis. (2011). Panorama del trigo en México. Agrosíntesis. [en línea] Disponible en: <http://www.agrosintesis.com/591/panorama-del-trigo-en-mexico-2/> [Consultado el día 24 de marzo de 2017].

Badui, S. (2013). *Química de los alimentos* (5ta ed.). México: Pearson.

Baiano, A., Romaniello, R., Lamacchia, C., y La Notte, E. (2009). Physical and mechanical properties of bread loaves produced by incorporation of two types of toasted durum wheat flour. *Journal of Food Engineering*, 95(1), 199-207.

Bedolla, S., y Rooney, C., W. (1982). Characteristics of US and Mexican instant maize flour for tortilla and snack preparations. *Cereal Foods World*, 29: 732-735.

Borneo, R. (2008) *Química, Ciencia y tecnología de los cereales*. [en línea] Disponible en: <http://cytcereales.blogspot.mx/> [Consultado el día 28 de junio de 2017].

CANIMOLT. (2014) *Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo. Estructura del grano*. [en línea] Disponible en: <http://www.canimolt.org/trigo/estructura-del-grano> [Consultado el día 16 de mayo de 2017].

Corona, D., y Garduño, F. (2005). Calidad Bromatológica de Líneas Avanzadas de trigo (*Triticum aestivum* L.) Evaluadas en Tres Localidades del Valle de Toluca. Tesis Licenciatura. *Ingeniería en Agronomía* Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca.

Cortés-Gómez A, E San Martín-Martínez, F Martínez-Bustos, G M Vázquez-Carrillo (2005) Tortillas of blue maize (*Zea mays* L.) prepared by a fractionated process of nixtamalization: Analysis using response surface methodology. *J. Food Eng.* 66:273-281.

de la Federación, D. O. (1980) Norma Mexicana NMX- F-046-1980. Harina de maíz nixtamalizado. Dirección General De Normas. [Consultado el día 10 de julio de 2017]

de la Federación, D. O. (1982). Norma Mexicana NMX-F-007-1982. Alimento para humanos. Harina de Trigo. Dirección General De Normas. [Consultado el día 10 de julio de 2017].

de la Federación, D. O. (2008). NORMA Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008 Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. [Consultado el día 10 de junio de 2017].

De la Horra, A. E., Seghezzi, M. L., Molfese, E., Ribotta, P. D., y León, A. E. (2012). Indicadores de calidad de las harinas de trigo: índice de calidad industrial y su relación con ensayos predictivos. *Agriscientia*, 29(2), 81-89.

Deshpande S, Sathe S, Comforth D, Salunkhe D (1982) Effects of dehulling on functional properties of dry bean (*Phaseolus vulgaris*. L.) flours. *Cereal Chem.* 59: 396-401.

DuPont, F. M., y Altenbach, S. B. (2003). Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *Journal of cereal science*, 38(2), 133-146.

Enriquez O, (2012), Instalación de un banco de molienda para la producción de trigo planchado para mejorar la productividad de una planta de la industria alimentaria, *UNAM, Edo. De México*. Pp. 1-63

Enrique, R. M., Serna, S. O., & Feliciano Sánchez, S. (2008). Nixtamalización del maíz a la tortilla: aspectos nutrimentales y toxicológicos. *México, Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro*.

Enwere NJ, McWalters KH, Phillips RD (1998) Effect of processing on some properties of frijol seed, protein, starch, flour and akara. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 49: 365- 373.

Escalante-Aburto, A., B. Ramírez-Wong, P. I. Torres-Chávez, J. M. Barrón-Hoyos, J. D. Figueroa C., y J. López-Cervantes. (2013). La nixtamalización y su efecto en el contenido de antocianinas de maíces pigmentados, una revisión. *Rev. Fitotec. Mex.* 36(4):429-437.

Fernández-Muñoz, J. L., Martín-Martínez, S., Díaz-Góngora, J. A., Calderón, A., & Ortiz, H. (2008). Evaluación de las Distribuciones de Tamaño de Partícula de Harina de Maíz Nixtamalizado por medio de RVA. *Superficies y vacío*, 21(3), 24-29.

Flores-Farías, R., Martínez-Bustos, F., Salinas-Moreno, Y., y Ríos, E. (2002). Caracterización de harinas comerciales de maíz nixtamalizado. Colegio de Posgraduados, Texcoco, México. *Agrociencia*, 36(5).

Frank, F., Montero, G., Ricard, F., y Viglizzo, E. (2014). La huella de carbono en la agroindustria. *Anguil, La Pampa, Argentina, INTA Editions*.

Gambarotta, L. (2005). Caracterización de las fracciones de harina de trigo pan. Análisis de las propiedades físico-químicas y reológicas de las fracciones de harina de trigo pan obtenidas en el molino experimental BÜHLER MLU-202 (Doctoral dissertation, Universidad de Belgrano. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.).

Gomez M.H, Waniska, R.D. and Rooney, L.W. (1990). Effects of nixtamalization and grinding conditions on starch in masa. *Starch / Starke* 42: 475.

Gomez M.H., Waniska, R.D. and Rooney, L.W. (1991). Starch characterization of nixtamalized corn flour. *Cereal Chemistry* 68(6): 578-582.

Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W. S., Courtin, C. M., Gebruers, K., y Delcour, J. A. (2005). Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in food science & technology*, 16(1), 12-30.

Granito, M., Guerra, M., Torres, A., & Guinand, J. (2004). Efecto del procesamiento sobre las propiedades funcionales de *Vigna Sinensis*. *Interciencia*, 29(9).

Guerrero, A. (1999) Cultivos herbáceos extensivos. 6ta edición. México, pág. 198, 192

Hernández, L. J. C. (2012). Estudio del desarrollo radical del cultivo del trigo (*Triticum aestivum* L. var. TRIUNFO F2004) aplicando ácido salicílico vía foliar (Doctoral dissertation), Tesis de Maestría en Ciencias. *Colegios de Postgraduados*. Montecillo, Texcoco, Estado de México. México).

Inyang U, Nwadinmpa C (1992) Functional properties of dehulled sesame (*Sesamun indicum* L.) seed flour. *JOACS* 69: 819-822

Islas Rubio, A., MacRitchie, F., Gandikota, S., & Hou, G. (2005). Relaciones de la composición proteínica y mediciones reológicas en masa con la calidad panadera de harinas de trigo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(3).

Jayakody, L., y Hoover, R. (2008). Effect of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of starches from different botanical origins—A review. *Carbohydrate Polymers*, 74(3), 691-703.

Juárez, Z. N., Bárcenas-Pozos, M. E., & Hernández, L. R. (2014). El grano de trigo: características generales y algunas problemáticas y soluciones a su almacenamiento. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 8(1), 79-93.

Kamal, A. H. M., Kim, K. H., Shin, D. H., Seo, H. S., Shin, K. H., Park, C. S., Heo, H. Y. y Woo, S. H. (2009). Proteomics profile of pre-harvest sprouting wheat by using MALDI-TOF Mass Spectrometry. *Plant Omics Journal*, 2, 110-119.

Kent, N. L., y Alonso, T. G. (1987). *Tecnología de los Cereales*. Zaragoza, España: Acribia.

Kohli, M., Martino, D., (1997) Explorando altos rendimientos de trigo. Centro internacional de mejoramiento de maíz y trigo CIMMYT, octubre 20-23 Uruguay.

Lesafre. (2014). Baking Center México. Harinas. [en línea] disponible en: [www.fao.org/input/download/standards/50/CXS\\_152s.pdf](http://www.fao.org/input/download/standards/50/CXS_152s.pdf) [consultado el día 24 de mayo de 2017].

Markakis, P. (1982). Stability of anthocyanins in foods. In: Anthocyanins as food colors. P. Markakis (ed) Academic Press. New York. pp: 163-178.

Martínez, E. P., Pérez, I. A., Lozano, F. L., y Aguirre, E. C. (2010). Proceso de molienda de trigo para la producción de harina. Instituto Tecnológico Superior De Tepeaca.

Martínez, M. M., y Gómez, M. (2017). Rheological and microstructural evolution of the most common gluten-free flours and starches during bread fermentation and baking. *Journal of Food Engineering*, 197, 78-86.

Mesas, J. M., & Alegre, M. T. (2002). El pan y su proceso de elaboración. *CYTA-Journal of Food*, 3(5), 307-313.

Milán-Carrillo, J., Gutiérrez-Dorado, R., Cuevas-Rodríguez, E. O., Garzón-Tiznado, J. A., & Reyes-Moreno, C. (2004). Nixtamalized flour from quality protein maize (*Zea mays* L). Optimization of alkaline processing. *Plant Foods for Human Nutrition (Formerly Qualitas Plantarum)*, 59(1), 35-44

MILLBÄNKER. (2017). Mezclas y premezclas para panes, bollería y tortas. [en línea] disponible en <http://www.millbaker.com/es/creacion-de-mezclas-y-premezclas/creacion-mezclas-y-premezclas> [Consultado el día 16 de mayo de 2017]

Minolta. (1998). Comunicación precisa de los colores. KONICA MINOLTA SENSING, INC.

Mira, R. A. (2003). Calidad Fisicoquímica del grano de 20 genotipos de *Triticale* y 3 de Trigo, en 6 Localidades del Valle de Toluca. Tesis de Licenciatura de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista Universidad Autónoma del Estado de México. Cerrillo Piedras Blancas, Toluca.

Moreno-Castro, L. E., Quintero-Ramos, A., Ruiz-Gutiérrez, M. G., Sánchez-Madrigal, M. Á., Meléndez-Pizarro, C. O., Pérez-Reyes, I., & Lardizábal-Gutiérrez, D. (2015). Nixtamalización asistida con ultrasonido: efecto en la transferencia de masa y propiedades fisicoquímicas de nixtamal, masa y tortilla. *Revista mexicana de ingeniería química*, 14(2), 265-279.

Mwasaru M, Muhammad K, Bakar J, CheMan Y (1999) Effects of isolation technique and conditions on the extractability, physicochemical and functional properties of pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata*) protein isolates. II. Functional properties. *Food Chem.* 67: 445-452.

Olán, M. D. L. O., Espitia Rangel, E., López Sánchez, H., Villaseñor Mir, H. E., Peña Bautista, R. J., y Herrera Hernández, J. (2012). Calidad física de grano de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) mexicanos de temporal. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(2), 271-283.

OMSFAO (2007). *Codex Alimentarius: Cereales, Legumbres, Leguminosas y Productos Proteínicos Vegetales*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura ISBN 978-92-5-305842-6 [Consultado el día 13 de junio de 2017].

Ortega-Moody, J., Morales-Sánchez, E., Hernández-Román, M. Á., y Ruíz-Torres, M. (2011). Sistema para producir harina nixtamalizada con transporte de bajo cizallamiento. *Ingeniería mecánica, tecnología y desarrollo*, 4(1), 033-042.

Osborne, T. B. (1907). *The proteins of the wheat kernel*. Carnegie Inst. Washington Publ., 84. Washington, DC.

Osborne, T. B. (1924). *The vegetable proteins*. London: Longmans Green and Co.

Paliwal, R. L. (2017) Origen evolución y difusión el maíz. *Depósito de documentos de la FAO*. [en línea] Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s03.htm#TopOfPage> [Consultado el día 28 de junio de 2017].

Panorama Agroalimentario. (2014). *Trigo 2014*. Dirección de Investigación Económica y Sectorial. Subdirección de Evaluación Sectorial. [en línea] Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99098/Panorama\\_Agroalimentario\\_Trigo\\_\\_2014.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99098/Panorama_Agroalimentario_Trigo__2014.pdf) [Consultado el día 8 de marzo de 2017].

Paredes L., O., F. Guevara L., y L. A. Bello P. (2009). La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Ciencias* 92-93:60-70.

Peña, R. J., Ortíz-Monasterio, J. I., y Sayre, K. D. (1998). Estrategias para mejorar (o mantener) la calidad panadera en trigo de alto potencial de rendimiento. *Explorando altos rendimientos de trigo*, 289-306.

Peña, B. R. J.; Hernández, E. N.; Pérez, H. P.; Villaseñor, M. H.E.; Gómez, V. M.M. y Mendoza, L. M.A. (2008). Calidad de la cosecha del trigo en México. Ciclo otoño-invierno 2006-2007. Publicación Especial del CONASIST-CONATRIGO. México D. F. 28 p.

Pomeranz, Y. (1987). *Modern Cereal Science and Technology*. VCH-Publishers. New York. 486 p.

Ponce N. (2015) *Apuntes de tecnología de cereales y oleaginosas*, Facultad de Ciencias Agrícolas, México.

Rebollar Rebollar, S., García Salazar, J. A., y Rodríguez Licea, G. (2005). Análisis espacial e intertemporal sobre el almacenamiento del sorgo en México. *CIENCIA ergo sum*, 12(3).

Reguera, E., Yee-Madeira H., Fernandez-Beltrán, J., Sánchez-Silencio, F., (2013). On the state of calcium in nixtamalized corn grains. *Topics in Contemporary Physics*. IPN, México

Rooney, L. W. and E. L. Suhendro. 1999. Perspectives on nixtamalization (alkaline cooking) of maize for tortilla and snacks. *Cereal Foods World* 44(7) 466-470.

Rosado, J. L., Camacho, R., y Bourges, H. (1999). Adición de vitaminas y minerales a harinas de maíz y de trigo en México. *Salud pública de México*, 41(2).

Royo, C., Nachit, M. M., Fonzo, N. D., Araus, J. L., Pfeiffer, W. H. y Slafer, G. A. (2005). Durum wheat breeding: current approaches and future strategies. Volumen 1 y 2. *Food Products Press*.

Ruiz-Gutiérrez, M. G., Quintero-Ramos, A., Meléndez-Pizarro, C. O., Talamás-Abbud, R., Barnard, J., Márquez-Meléndez, R., y Lardizábal-Gutiérrez, D. (2012). Nixtamalization in two steps with different calcium salts and the relationship with chemical, texture and thermal properties in masa and tortilla. *Journal of Food Process Engineering*, 35(5), 772-783.

Sánchez-Armas, A. 1996. La tecnología en la industria de la masa y la tortilla. In: La industria de la Masa y la Tortilla. Torres F., E. Moreno, I. Chong, y J. Quintanilla (eds.). UNAM-PUAL. pp: 163-166.

Santiago-Ramos, D. (2014). Efecto de la concentración de sales de calcio en la gelatinización del almidón durante el proceso de nixtamalización ecológico y tradicional (Doctoral dissertation). *Maestría en ciencia y Tecnología de Alimentos* Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro.

Serna-Saldivar, S.O., Gomez, M.H., and Rooney, L.W. (1990). Technology, chemistry and nutritional value of alkaline-cooked corn products. Pág. 243- 304 in:

Advances in Cereal Science and Technology. Vol 10. Y. Pomeranz, ed. Am. Assn. Cereal Chemists, St. Paul, MN.

Serna, S. S. R. O. (1996). Química, Almacenamiento e Industrialización de los Cereales. AGT Editor, S.A. México. 521 pp.

Serna- Saldivar, S. R. O. (2009). Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. D.F. México: AGT Editor.

Severson, D.K., (1998). Lactic acid fermentations. In: Nagodawithana, T.W., Reed, G. (Eds.), Nutritional Requirements of Commercially Important Microorganisms. Esteekey Associates, *Milwaukee, USA*, pp. 258 – 297

Shewry, P. R., Tatham, A. S., Forde, J., Kreis, M., y Mifflin, B. J. (1986). The classification and nomenclature of wheat gluten proteins: A reassessment. *Journal of Cereal Science*, 4, 97–106.

Shewry, P. R., Napier, J. A., y Tatham, A. S. (1995). Seed storage proteins: Structures and biosynthesis. *The Plant Cell*, 7, 945– 956.

SIAP. (2016). Sistema de información agropecuaria de consulta. [en línea] Disponible en: <http://www.siap.gob.mx> [Consultado el 24 de mayo de 2017].

Silva, C. R. E. y Solano, M. A. Q. (2011). Tecnología de cereales y leguminosas. Primera edición. Lima: pp.1-139.

Tecnosa®. (2017). Farinografo. [en línea] Disponible en: [http://www.tecnosa.es/index.php?option=com\\_k2&view=item&layout=item&id=258&Itemid=](http://www.tecnosa.es/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=258&Itemid=) [Consultado el día 20 de junio de 2017].

Vaclavik, A. V. (2002). Fundamento de la ciencia de los alimentos. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España. pp. 76-81.

Valdés Valdés, C., Estrada-Capuzano, G., Dominguez-Lopez, A., y Martinez Rueda, C. G. (2013) Cambios en la calidad harinera y panadera del trigo en respuesta a la fertilización nitrogenada.

Véles M., J. J. 2004. Caracterización de tostadas elaboradas con maíces pigmentados y diferentes métodos de nixtamalización. Tesis de maestría. Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada. Instituto Politécnico Nacional. Querétaro, México. 182 p.

Villaseñor Mir, H. E. y Espitia Rangel, E. (1994). La producción de trigo y la investigación en México. El agua y la energía en la cadena alimentaria: Granos básicos. Primera Edición. *Instituto de Investigaciones económicas*, UNAM. (p. 431)

Weegels, P. L., Hamer, R. J., Schofield, J. D. (1996). Critical review: functional properties of wheat glutenin. *J. Cereal Sci.*, 23: 1-18.

Wieser, H. (2007). Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology*, 24,115-119.

Yañez, O. Y., (2005). Nixtamalización por extrusión de las fracciones del grano de maíz para la obtención de harinas instantáneas (Doctoral dissertation), Tesis de Maestría en Tecnología Avanzada. *Instituto Politecnico Nacional*. (México, D.F.)

Zhao, F. J., Hawkesford, M. J. y McGrath, S. P. (1999) Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. *Journal of Cereal Science*, 30, 1-70.